



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Πολυκριτηριακή αξιολόγηση εγκαταστάσεων φωτισμού σε  
αίθουσες διδασκαλίας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ανδρέας Σ. Διονέλλης

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων:** Ευάγγελος-Νικόλαος Δ. Μαδιάς  
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2019





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Πολυκριτηριακή αξιολόγηση εγκαταστάσεων φωτισμού σε  
αίθουσες διδασκαλίας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ανδρέας Σ. Διονέλλης

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων:** Ευάγγελος-Νικόλαος Δ. Μαδιάς  
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την  
.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....  
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Πάυλος Σ. Γεωργιλάκης  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Φ. Γκόνος  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2019

.....

Ανδρέας Σ. Διονέλλης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρέας Σ. Διονέλλης, 2019.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η πολυκριτηριακή αξιολόγηση βέλτιστης εγκατάστασης φωτισμού σε αίθουσες διδασκαλίας. Οι υπό μελέτη αίθουσες βρίσκονται στα νέα κτήρια της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται μία εισαγωγή στην κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ευρώπη και αντίστοιχη ανάλυση της κατάστασης στην Ελλάδα. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τρόποι και μέσα εξοικονόμησης ενέργειας μέσω κατάλληλων συστημάτων ελέγχου φωτισμού σε κτιριακές εγκαταστάσεις, ενώ αναλύονται τα χαρακτηριστικά διατάξεων φωτισμού, όπως LED, λαμπτήρες φωτισμού, ballasts και διάφοροι αισθητήρες. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι απαιτήσεις και οι συνθήκες φωτισμού των αιθουσών και των χώρων που συναντώνται στα εκπαιδευτικά κτίρια, όπως αυτές ορίζονται από τα αντίστοιχα πρότυπα. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του χώρου των δύο υπό μελέτη αιθουσών, ενώ ακολουθεί στο πέμπτο κεφάλαιο η καταγραφή όλων των αποτελεσμάτων των μετρήσεων για τις επιλεγμένες διατάξεις των φωτιστικών, όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν μέσω προσομοίωσης με χρήση του εμπορικού λογισμικού Relux. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στα πολυκριτηριακή ανάλυση συστημάτων και καταγράφονται τα χαρακτηριστικά της πολυκριτηριακής μεθόδου PROMETHEE II. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο πραγματοποιείται εφαρμογή της προαναφερθείσας μεθόδου στα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις υπό μελέτη αίθουσες και με βάση τα επιλεγμένα κριτήρια εξάγονται τα απαραίτητα συμπεράσματα για τη βέλτιστη εγκατάσταση φωτιστικών που προκύπτει σε κάθε περίπτωση.

## Λέξεις κλειδιά

Εξοικονόμηση ενέργειας, εγκαταστάσεις φωτισμού, αξιοποίηση φυσικού φωτισμού, αισθητήρες φωτισμού, αισθητήρες παρουσίας, φωτισμός χώρων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, μελέτη φωτισμού αιθουσών διδασκαλίας, πολυκριτηριακή ανάλυση, PROMETHEE II

## Abstract

The purpose of this thesis is the study and multicriteria evaluation of the optimal lighting facilities in classrooms. The rooms that are under study are located in the new buildings of the School of Electrical and Computer Engineering of the National Technical University of Athens.

Initially, the first chapter presents an introduction to energy consumption in the building sector in Europe and a corresponding analysis of the situation in Greece. The second chapter describes ways and means of saving energy through appropriate lighting control systems in building facilities and analyzes the characteristics of lighting layouts, such as LEDs, lamps, ballasts and various sensors. The third chapter analyzes the requirements and lighting conditions of the classrooms and areas that are found in educational buildings, as they are defined by the corresponding standards. In the fourth chapter, a description of the of the two rooms, that are under study, is made, while in the fifth chapter, the recording of all the measurement results for the selected luminaires is described, by the way they were simulated, using the commercial software Relux. The sixth chapter introduces the multicriteria analysis systems and records the characteristics of the multicriteria method PROMETHEE II. Finally, in the seventh chapter, the above-mentioned method is applied to the results of the simulation for the rooms, that are under study, and on the basis of the selected criteria, the necessary conclusions for the optimum installation of luminaires in each case are drawn.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής εργασίας Φραγκίσκο Β. Τοπαλή, Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Αποτέλεσε τον καθηγητή που με έφερε σε επαφή με την επιστήμη του φωτισμού και μου εξήγησε τον ενδιαφέρον, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ευάγγελο-Νικόλαο Δ. Μαδιά, ο οποίος μου παρείχε πολύτιμη βοήθεια και στήριξη σε όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ήταν πάντα διαθέσιμος και πρόθυμος να μου παρέχει συμβουλές, επεξηγήσεις και να μου αναλύει κάθε πιθανή απορία σε σχέση με το θέμα, έτσι ώστε, τελικά, να αποκτήσω βαθύτερη κατανόηση του αντικειμένου με το οποίο ασχολήθηκα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω συγγενείς και φίλους για τη σημαντική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα την οικογένειά μου, η οποία ήταν πάντα δίπλα μου έως τώρα και μου παρείχε αμέριστη στήριξη.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Λέξεις κλειδιά.....	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες.....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ .....</b>	<b>11</b>
1.1 Ενεργειακή κατανάλωση στην Ε.Ε. ....	11
1.2 Κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ε.Ε.....	14
1.3 Οπτική και θερμική άνεση .....	17
1.4 Ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα.....	19
1.4.1 Εισαγωγή .....	19
1.4.2 Ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα .....	20
1.4.3 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.....	21
1.4.4 Κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας.....	22
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ .....</b>	<b>25</b>
2.1 Εισαγωγή.....	25
2.2 Βασικές έννοιες φωτισμού .....	26
2.3 Τεχνολογίες Λαμπτήρων.....	26
2.3.1 Εισαγωγή στα συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων.....	27
2.3.2 Λαμπτήρες φθορισμού.....	28
2.3.3 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι .....	31
2.3.4 Ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας φωτιστικών και λαμπτήρων LED .....	33
2.4 Φωτιστικά σώματα .....	35
2.5 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού .....	38
2.5.1 Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού.....	38
2.5.2 Έλεγχος φωτισμού με αισθητήρες παρουσίας.....	40
2.5.3 Συστήματα ελέγχου φωτισμού .....	42
2.5.3.1 Έλεγχος μέσω έναυσης ή σβέσης φωτιστικών .....	44
2.5.3.2 Έλεγχος μέσω ρύθμισης της στάθμης φωτισμού .....	44
2.5.3.3 Έλεγχος με βάση τον αλγόριθμο ελέγχου του αισθητήρα φωτισμού..	45
2.5.4 Προβλεπόμενος και μη προβλεπόμενος προγραμματισμός .....	46
2.6 Αρχιτεκτονικές λύσεις αξιοποίησης φυσικού φωτισμού .....	47
2.6.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός .....	47

2.6.2	Ράφια φωτισμού .....	48
2.6.3	Ανακλαστικές περσίδες .....	49
2.6.4	Φωτοσωλήνες .....	50
2.6.5	Υαλοπίνακες .....	51
2.6.6	Αίθρια .....	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.....</b>		<b>55</b>
3.1	Εισαγωγή.....	55
3.2	Ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό στην εκπαίδευση .....	56
3.3	Ενεργειακή κατανάλωση τεχνητού φωτισμού στα ελληνικά σχολεία .....	57
3.4	Φωτισμός αιθουσών και χώρων σε εκπαιδευτικά ιδρύματα .....	60
3.4.1	Πρότυπο φωτισμού EN 12464-1 .....	60
3.4.2	Φωτισμός στο νηπιαγωγείο και στην προσχολική αγωγή .....	62
3.4.3	Φωτισμός σχολικής αίθουσας.....	62
3.4.4	Φωτισμός αίθουσας υπολογιστών .....	63
3.4.5	Φωτισμός αίθουσας τέχνης και μουσικής .....	64
3.4.6	Φωτισμός εργαστηρίων .....	65
3.4.7	Φωτισμός αιθουσών διδασκαλίας ενηλίκων .....	65
3.4.8	Φωτισμός αίθουσας διαλέξεων – αμφιθεάτρων .....	66
3.4.9	Φωτισμός βιβλιοθήκης .....	66
3.4.10	Φωτισμός εντευκτηρίου-αίθουσας εκθεμάτων.....	67
3.4.11	Φωτισμός καφετέριας, τραπεζαρίας και κουζίνας.....	67
3.4.12	Φωτισμός εσωτερικών κοινόχρηστων χώρων .....	68
3.4.13	Φωτισμός αίθουσας προσωπικού - καθηγητών .....	68
3.4.14	Φωτισμός αθλητικών εγκαταστάσεων.....	69
3.4.15	Φωτισμός χώρου στάθμευσης και προαυλίου .....	70
3.4.16	Φωτισμός ασφαλείας .....	70
3.5	Παραδείγματα εφαρμογής συστημάτων φωτισμού σε εκπαιδευτικά ιδρύματα	71
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΡΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ.....</b>		<b>75</b>
4.1	Γενικές πληροφορίες χώρου – Εισαγωγή.....	75
4.2	Αίθουσα 001 .....	77
4.3	Αίθουσα 007.....	78
4.4	Υφιστάμενη εγκατάσταση φωτισμού.....	79
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ .....</b>		<b>83</b>
5.1	Εισαγωγή.....	83
5.2	Αποτελέσματα αίθουσας 001 .....	85
5.2.1	Διάταξη 1 .....	85
5.2.2	Διάταξη 2.....	87

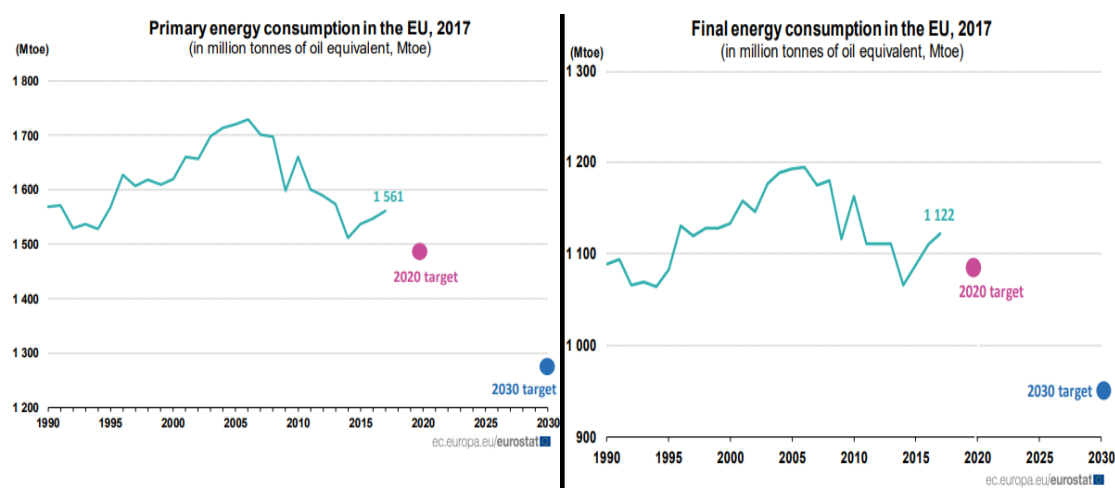
5.2.3 Διάταξη 3 .....	89
5.2.4 Διάταξη 4 .....	91
5.2.5 Διάταξη 5 .....	93
5.2.6 Διάταξη 6 .....	95
5.2.7 Διάταξη 7 .....	97
5.2.8 Διάταξη 8 .....	99
5.2.9 Διάταξη 9 .....	101
5.3 Αποτελέσματα αίθουσας 007 .....	103
5.3.1 Διάταξη 1 .....	103
5.3.2 Διάταξη 2 .....	105
5.3.3 Διάταξη 3 .....	107
5.3.4 Διάταξη 4 .....	109
5.3.5 Διάταξη 5 .....	111
5.3.6 Διάταξη 6 .....	113
5.3.7 Διάταξη 7 .....	115
5.3.8 Διάταξη 8 .....	117
5.3.9 Διάταξη 9 .....	119
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</b>	
<b>ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΣ PROMETHEE .....</b>	<b>121</b>
6.1 Εισαγωγή στη λήψη αποφάσεων .....	121
6.2 Κριτήρια και Μοντελοποίηση .....	123
6.3 Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων .....	127
6.4 Πολυκριτηριακή μέθοδος PROMETHEE .....	129
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PROMETHEE II ΣΤΑ</b>	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....</b>	<b>133</b>
7.1 Εισαγωγή .....	133
7.2 Επιλεγμένες δράσεις, κριτήρια & βάρη για την Promethee II .....	134
7.3 Εφαρμογή της μεθόδου στα αποτελέσματα των μετρήσεων της αίθουσας 001 .....	137
7.4 Εφαρμογή της μεθόδου στα αποτελέσματα των μετρήσεων της αίθουσας 007 .....	147
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>159</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>160</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: DATA SHEETS ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ .....</b>	<b>163</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

## 1.1 Ενεργειακή κατανάλωση στην Ε.Ε.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ιδιαίτερη αύξηση της ζήτησης της ενέργειας παγκοσμίως. Όσον αφορά συγκεκριμένα τον ευρωπαϊκό τομέα, το φαινόμενο είναι έντονο λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης αλλά και του τρόπου ζωής των Ευρωπαίων. Ο τρόπος ζωής καθιστά την ενέργεια απαραίτητη για τις δραστηριότητες της καθημερινότητας και δίχως αυτήν δεν γίνεται να λειτουργήσουν τόσο οι άνθρωποι όσο και οι διάφορες επιχειρήσεις. Η ενέργεια χρειάζεται στον φωτισμό, στη θέρμανση, στις μεταφορές και στη βιομηχανική παραγωγή. Παρόλα αυτά, η εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας στην επιθυμητή τιμή για τώρα και για τα επόμενα χρόνια είναι ιδιαίτερα δύσκολη και απαιτεί συγκεκριμένες ενέργειες.

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, αν και καταναλώνει το ένα πέμπτο της παγκόσμιας ενέργειας, τα δικά της αποθέματα, τα οποία διαθέτει, δεν επαρκούν και αυτό επιδρά αρνητικά σε οικονομικό επίπεδο. Το 53% της ενέργειας που χρειάζεται το εισάγει και το κόστος για αυτό ανέρχεται περίπου στα 400 δισεκατομμύρια ευρώ [3]. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.1, η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρωπαϊκή Ένωση συνεχίζει τα τελευταία χρόνια να αυξάνεται. Η μεγαλύτερη τιμή της παρατηρήθηκε το 2006 με 1729 Mtoe και παρά το γεγονός ότι τα χρόνια που ακολούθησαν υπήρχε μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση, μετά το 2014 άρχισε πάλι αύξηση, φτάνοντας εν έτη 2017 σε κατανάλωση 1561 Mtoe. Όσο για την τελική ενεργειακή κατανάλωση, ακολουθεί αντίστοιχες τάσεις, παρουσιάζοντας τα τελευταία χρόνια ανοδική πορεία μέχρι το έτος 2017 όπου αντιστοιχεί σε 1122 Mtoe [5].



Εικόνα 1.1 Πρωτογενής & τελική ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρωπαϊκή Ένωση (1990-2030)  
[5]

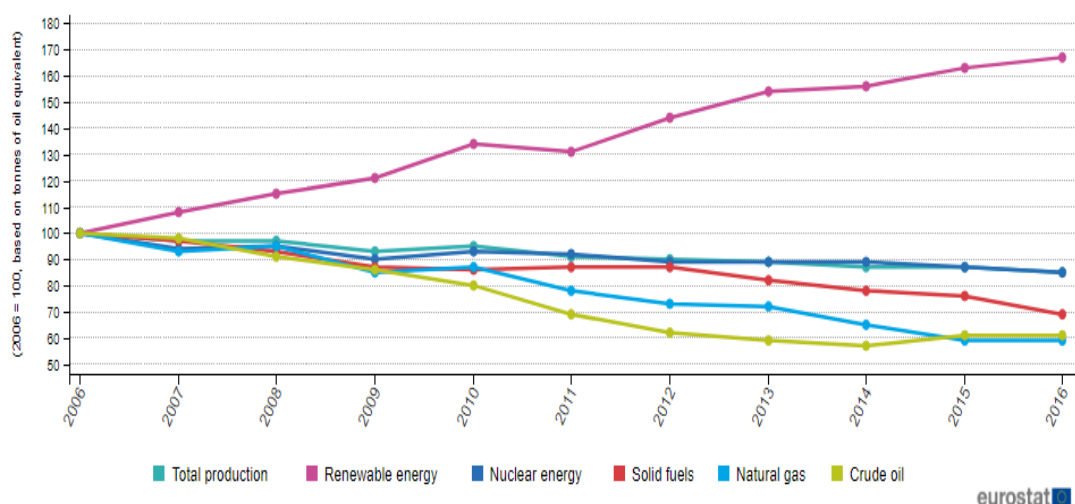
Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση 20% από το 2017 και μέχρι το 2020. Το

Φεβρουάριο του 2016 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε μία συγκεκριμένη στρατηγική, με την οποία θα μπορέσει μελλοντικά να επιτευχθεί ενεργειακή αυτάρκεια και σταθερότητα. Με βάση τη στρατηγική αυτή σημαντικό ρόλο διαδραματίζει αδιαμφισβήτητα η αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 20% τουλάχιστον της κατανάλωσης. Οι σημαντικοί τομείς που δίνονται ιδιαίτερη προσοχή για την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης αφορούν τη διασφάλιση του εφοδιασμού, την επέκταση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, την αύξηση ενεργειακής απόδοσης, την διεξαγωγή έρευνας και εφαρμογή καινοτομιών για την ανάπτυξη αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων, τη μείωση των εκπομπών διαφόρων ρύπων κατά τουλάχιστον 20% συγκριτικά με τις τιμές που επικρατούσαν το 1990 αλλά και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τουλάχιστον κατά 20% σε σχέση με την συνέχιση της υφιστάμενης εφαρμοζόμενης πολιτικής.

Εφόσον μπορέσουν τα ευρωπαϊκά κράτη να κινηθούν στο σωστό άξονα και να συνδυάσουν κατάλληλα τους παραπάνω κρίσιμους τομείς, βελτιώνοντας ακόμα παραπάνω τα επιμέρους προβλήματα, μακροπρόθεσμα το 2030 είναι εφικτό να επιτευχθεί πολύ μεγαλύτερη μείωση της πρωτογενής αλλά και της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 30%.

Όσον αφορά την ενεργειακή εξάρτηση, αυτή προκαλείται κυρίως από τη μείωση της πρωτογενούς παραγωγής αργού πετρελαίου, λιγνίτη, λιθάνθρακα, φυσικού αερίου αλλά και πυρηνικής ενέργειας. Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 1.2, η μείωση στην παραγωγή των προαναφερθέντων πηγών ενέργειας δημιουργεί επακόλουθα μεγαλύτερη εξάρτηση από εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας, με σκοπό να καλυφθεί η ζήτηση. Μάλιστα, το 2016 οι εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπερέβησαν περίπου κατά 904 εκατομμύρια toe τις εξαγωγές. Για το διάστημα που υπάρχουν πληροφορίες στο διάγραμμα από 2006 ως 2016 οι μεγαλύτερες μειώσεις παρατηρήθηκαν στο φυσικό αέριο με ποσοστό 41.2%, στο αργό πετρέλαιο με 39% και στα στερεά καύσιμα με 30.8%. Θετικό στοιχείο αποτελεί η αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας [4].

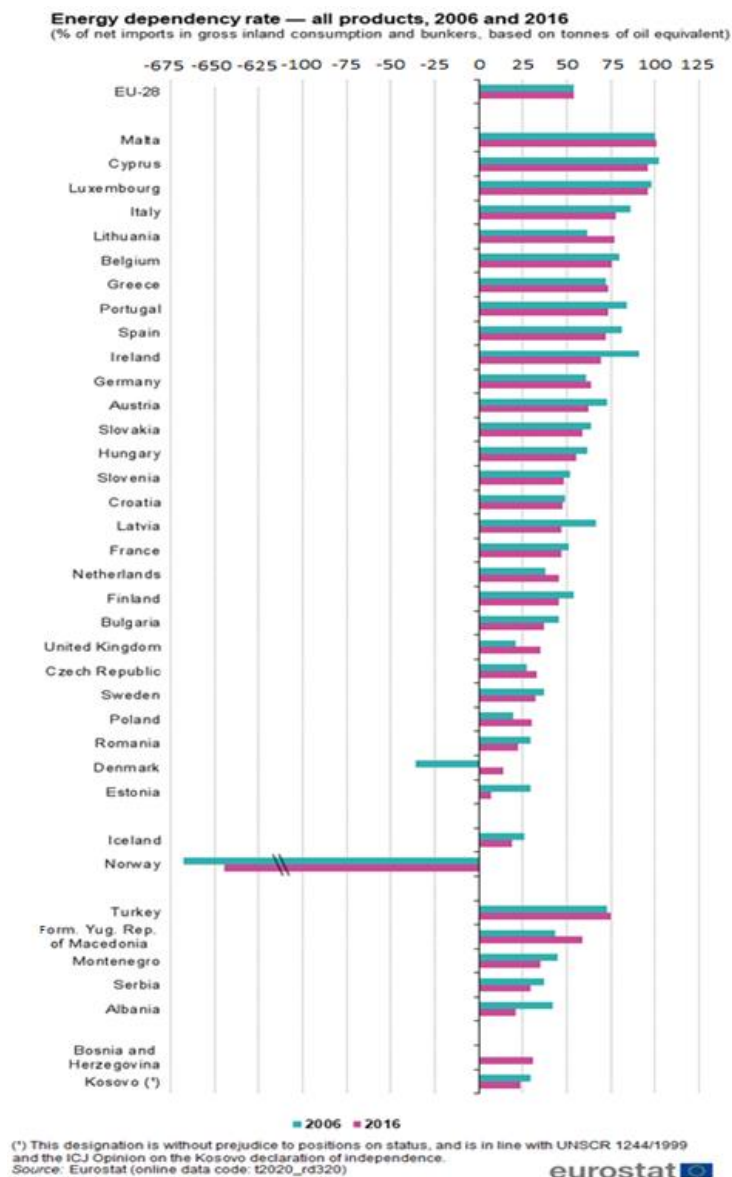
Development of the production of primary energy (by fuel type), EU-28, 2006-2016



Εικόνα 1.2 Ανάπτυξη της παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας ανά τύπο καυσίμου (2006-2016) [4]



Ανεξάρτητα πάντως με την γενικότερη κατάσταση που επικρατεί στον Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με την ενεργειακή εξάρτηση, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές από χώρα σε χώρα. Σύμφωνα με την εικόνα 1.3, υπάρχουν κράτη όπως η Νορβηγία που χαρακτηρίζεται από πλήρη αυτάρκεια όσον αφορά την ενεργειακή παραγωγή και αποκλειστικά εξάγει ενέργεια. Άλλες χώρες όπως η Δανία, η Εσθονία, η Ρουμανία, η Ισλανδία, η Αλβανία και το Κόσοβο έχουν ένα πολύ μικρό ποσοστό ενεργειακής εξάρτησης εν έτη 2016, ενώ τα κράτη που στηρίζονται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στην εισαγωγή ενέργειας είναι η Κύπρος, η Μάλτα και το Λουξεμβούργο. Οι περισσότερες χώρες παρουσιάζουν μείωση των ποσοστών της ενεργειακής τους εξάρτησης, με τη μεγαλύτερη μεταβολή να παρουσιάζεται στην Εσθονία, όπου το ποσοστό έπεσε από 29.2% σε 6.8%, χωρίς να λείπουν βέβαια και ορισμένες χώρες που δεν μπόρεσαν να εφαρμόσουν την σωστή ενεργειακή στρατηγική, με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν τα ποσοστά της εξάρτησης τους. Σε αυτές ανήκει και η Ελλάδα, στην οποία το ποσοστό εξάρτησης παρουσίασε μικρή αύξηση, φτάνοντας κοντά στο 75% [5].

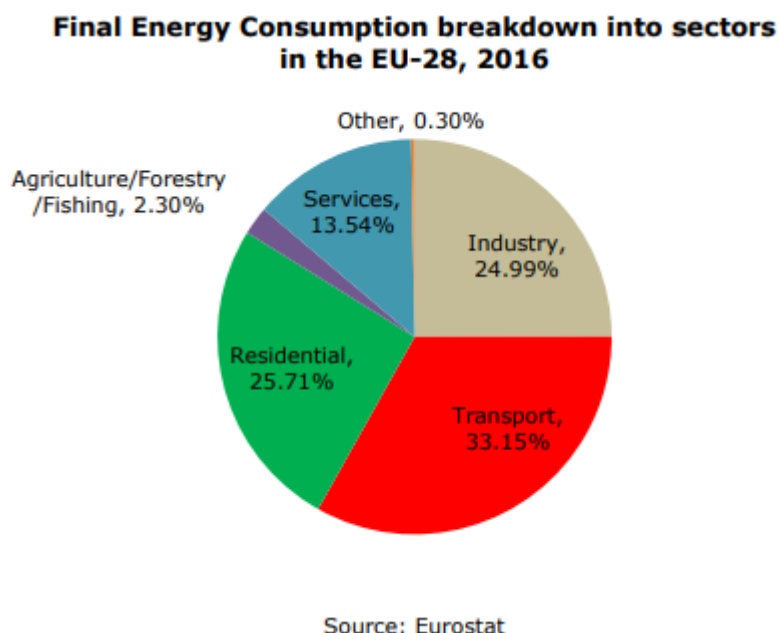


Εικόνα 1.3 Βαθμός ενεργειακής εξάρτησης χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2006 & 2016) [5]

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ανάγκη για «πράσινη» ενεργειακή πολιτική στον τομέα της παραγωγής ενέργειας έχει καταλυτική σημασία. Στόχος είναι η ενίσχυση των ανανεώσιμων μορφών παραγωγής ενέργειας και η προσπάθεια κάλυψης της ζήτησης μέσω αυτών στο μεγαλύτερο βαθμό, μειώνοντας σημαντικά την εκμετάλλευση των παραγώγων του πετρελαίου, έτσι ώστε να αποκτήσουν οι χώρες της η Ευρωπαϊκής Ένωσης ενεργειακή αυτάρκεια περιορίζοντας την ενεργειακή εξάρτηση, προάγοντας την προστασία του περιβάλλοντος και διασφαλίζοντας καλύτερη ποιότητα ζωής.

## 1.2 Κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα στην Ε.Ε.

Η ενέργεια που καταναλώνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση διαμοιράζεται σε διάφορους τομείς. Στην εικόνα 1.4 παρατίθενται τα ποσοστά της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε τομέα, με βάση στατιστικά που αφορούν το 2016.

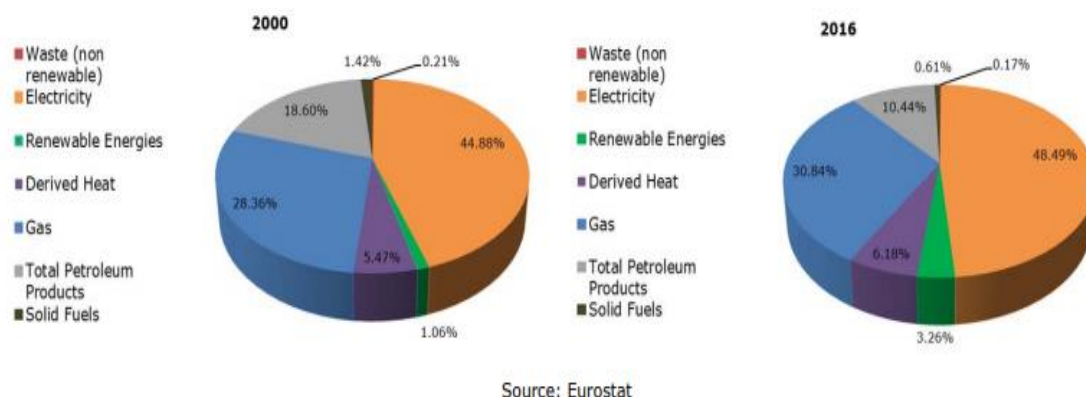


Εικόνα 1.4 Τελική ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (2016) [6]

Τα μεγαλύτερα ποσοστά καταναλώνονται στις μεταφορές με 33.15%, στα νοικοκυριά με 25.71% και στη βιομηχανία με 24.99%. Ο τριτογενής τομέας αφορά την παροχή υπηρεσιών και καταλαμβάνει το 13.54% της τελικής ενέργειας [6].

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η τελική κατανάλωση ανά μορφή ενέργειας στον τριτογενή τομέα στο χώρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο ηλεκτρισμός καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές. Από το 2000 μέχρι το 2016 σημειώνει αύξηση 3.61% στο ποσοστό του, το οποίο καταλήγει να ανέρχεται σε 48.49%. Έπειτα ακολουθεί το φυσικό αέριο όπου αυξάνεται μέχρι το 2016 κατά 2.48% και ανέρχεται σε 30.84% της συνολικής κατανάλωσης. Το αμέσως επόμενο μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα πετρελαϊκά προϊόντα, τα οποία πάντως σημειώνουν σημαντική μείωση στο ποσοστό του από το 2000 ως το 2016 κατά 8.16%

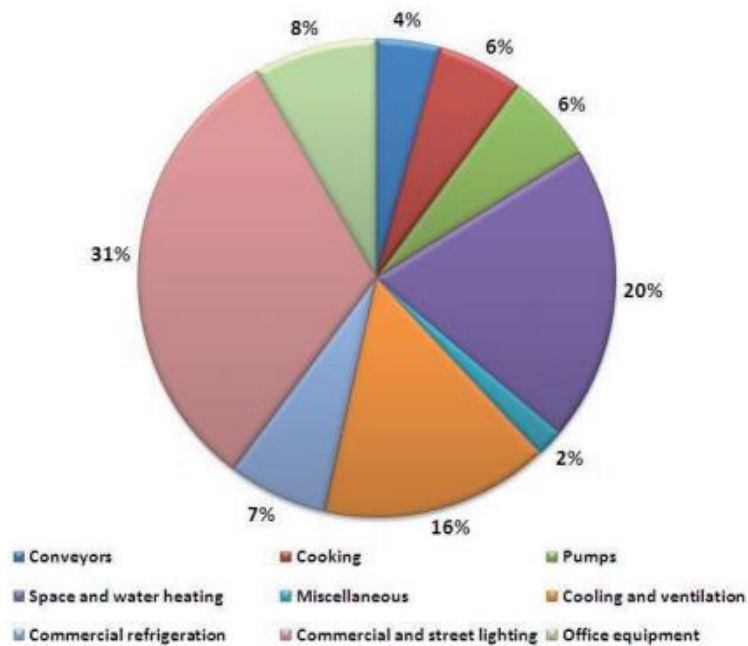
και ανέρχονται τελικά σε 10.44%. Τη συνολική κατανάλωση συμπληρώνουν άλλες μορφές ενέργειας με μικρότερα ποσοστά, ανάμεσα στις οποίες είναι και οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, οι οποίες ναι μεν αυξάνονται από το 2000 ως το 2016 κατά 2.2%, αλλά αποτελούν τελικά μόνο το 3.26% του συνολικού ποσοστού. Αναλυτικά όσα προαναφέρθηκαν παρουσιάζονται ακολούθως στην εικόνα 1.5.



**Εικόνα 1.5 Κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση (2000 & 2016) [6]**

Η σχεδόν κατά το ήμισυ συμβολή του ηλεκτρισμού στην κατανάλωση ενέργειας του τριτογενούς τομέα καθιστά το ρόλο του ιδιαίτερα σημαντικό στην επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας. Η ζήτηση αυξάνεται συνεχώς και προκειμένου να καλύψει ο ηλεκτρισμός τις ανάγκες και να δίνει οικονομικά βιώσιμες λύσεις, θα πρέπει να επιδιώκεται μείωση του κόστους. Σε αυτό θα μπορούσαν να συμβάλλουν και οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, έτσι ώστε με λύσεις όπως τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες κτλ., να εξασφαλίζεται ταυτόχρονη εξοικονόμηση κόστους και κατανάλωσης ενέργειας, σε αντίθεση με το πετρέλαιο. Η τάση λοιπόν αύξησης με την πάροδο των χρόνων της συμβολής των Α.Π.Ε. και ταυτόχρονα της μείωσης των πετρελαϊκών προϊόντων στη συνολική κατανάλωση του τριτογενούς τομέα είναι δικαιολογημένες, αλλά θα έπρεπε να υπήρχε ήδη μεγαλύτερη μεταβολή προκειμένου να καλύπτεται ευκολότερα η ζήτηση και οι ανάγκες.

Όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρισμού στον τριτογενή τομέα, αυτή αξιοποιείται για διάφορους σκοπούς και εργασίες καθημερινά. Σύμφωνα με την εικόνα 1.6, στην Ευρωπαϊκή Ένωση το μεγαλύτερο μέρος καταναλώνεται για το φωτισμό, που αφορά τον τριτογενή τομέα της οικονομίας καθώς και τον οδικό φωτισμό με ποσοστό 31%. Αυτό είναι λογικό καθώς ο φωτισμός σε όλες τις υπηρεσίες είναι απαραίτητος για τη λειτουργία του τριτογενούς τομέα ειδικά κατά τις βραδινές ώρες. Έπειτα ακολουθεί η θέρμανση των χώρων ή του νερού με 20%, η ψύξη και ο εξαερισμός με 16%, ενώ οι υπόλοιπες καταναλώσεις είναι κάτω από 10% για τον κάθε τομέα και παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο διάγραμμα της επόμενης σελίδας [7].



Εικόνα 1.6 Ηλεκτρική κατανάλωση στον κτιριακό τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση [7]

Ο κτιριακός τομέας στην Ευρωπαϊκή Ένωση συνεισφέρει το μεγαλύτερο ποσοστό στην κατανάλωση ενέργειας όπως είδαμε και στην εικόνα 1.4, με σχεδόν 40% απορρόφηση ενέργειας, ενώ περίπου το 75% των κτιρίων είναι ενεργειακά μη αποδοτικά. Προκειμένου να επιτευχθεί βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες κλιματικές και τοπικές συνθήκες, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης συνέταξαν την οδηγία 2010/31/ΕΕ (η οποία τροποποιήθηκε το 2018 με την οδηγία (ΕΕ) 2018/844). Ο κύριος στόχος ήταν η επιτάχυνση της ανακαίνισης των υφιστάμενων κτιρίων με οικονομικά συμφέροντα κριτήρια και η προώθηση των έξυπνων τεχνολογιών των κτιρίων. Ουσιαστικά, λοιπόν, καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις και ένα κοινό πλαίσιο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης [62].

Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να θεσπίσουν, βάσει της οδηγίας, τις βέλτιστες ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση. Πρέπει να καλύπτουν το κτίριο, τα στοιχεία του κτιρίου και την ενέργεια που καταναλώνεται για τα εξής:

- Θέρμανση χώρων
- Ψύξη χώρων
- Παραγωγή ζεστού νερού για οικιακή χρήση
- Εξαερισμός
- Ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού
- Άλλα τεχνικά συστήματα κτιρίων

### 1.3 Οπτική και θερμική άνεση

Προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή ενεργειακή απόδοση σε ένα κτίριο θα πρέπει να γίνουν συγκεκριμένες ενέργειες και παρεμβάσεις, οι οποίες θα εναρμονίζονται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και τις εσωτερικές συνθήκες που επικρατούν και με παράλληλη περιβαλλοντική λογική, με σκοπό κάθε δράση να είναι φιλική προς το περιβάλλον. Κάθε πιθανή επέμβαση με σκοπό να εξοικονομηθεί ενέργεια θα εφαρμόζεται λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες εσωτερικής θερμοκρασίας, αερισμού, χρωμάτων, υγρασίας, φωτισμού, ακουστικής, ποιότητας του αέρα, υγιεινής, ακουστικής και οπτικής. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο σκοπός της χρησιμοποίησης του κτιρίου, το περιεχόμενο, η θέση, η μορφολογία, καθώς και το εξωτερικό κέλυφός του. Τα δομικά υλικά, τα αρχιτεκτονικά σχέδια, τα έτη κατασκευής σε συνδυασμό με τις πιθανές φθορές με την πάροδο του χρόνου πρέπει να μελετώνται πριν εφαρμοστεί κάποια δράση στο κτίριο. Στη συγκεκριμένη διπλωματική οι δράσεις που θα αναλυθούν και θα γίνει εστίαση σε επόμενα κεφάλαια συνδέονται με το φωτισμό και τη γενικότερη αξιοποίηση του φωτός. Δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες που αποτελούν δείκτη για την αξιολόγηση των εσωτερικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα χώρο είναι η οπτική και η θερμική άνεση.

Η οπτική άνεση σε ένα χώρο καθορίζεται, σε γενικές γραμμές, από τρεις σημαντικές παραμέτρους: την ποσότητα του φυσικού φωτισμού, την κατανομή του στο χώρο και την ύπαρξη ή μη θάμβωσης. Η ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού στο χώρο μειώνει τις αντιθέσεις σε φωτεινότητα και προσφέρει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας. Η απουσία θάμβωσης δίνει στο άτομο τη δυνατότητα να διακρίνει τις λεπτομέρειες των αντικειμένων, εξαλείφοντας τις ακατάλληλες αναλογίες λαμπρότητας των γύρω επιφανειών και τις έντονες αντιθέσεις στη φωτεινότητά τους. Όσον αφορά την ποσότητα του φυσικού φωτισμού στο χώρο, υπάρχει ανάλογος συντελεστής, ο οποίος είναι ο λόγος της έντασης του φωτισμού που δέχεται ένα σημείο του εσωτερικού χώρου, το οποίο συνήθως επιλέγεται σε ύψος 0.7-0.8 cm από το έδαφος (επίπεδο εργασίας), προς την αντίστοιχη ένταση φωτισμού σε εξωτερικό ανεμπόδιστο σημείο του κτιρίου σε συνθήκες πλήρους νεφοσκεπούς ουρανού. Καλείται ως Daylight Factor ή Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού (DF) [9]. Οι τιμές, που λαμβάνει, χαρακτηρίζουν τις συνθήκες οπτικής άνεσης στο εσωτερικό ενός κτιρίου και δίνονται στον πίνακα 1.1 της επόμενης σελίδας:

**Πίνακας 1.1 Τιμές Daylight Factor ανά κατηγορία κτιρίου [9]**

<b>Είδος εσωτερικού χώρου</b>	<b>DF (%)</b>
Κτίρια κατοικιών με κατακόρυφα παράθυρα στον έναν τοίχο (τιμή στο μέσο του δωματίου)	> 0.75
Κτίρια γραφείων με κατακόρυφα παράθυρα στον έναν τοίχο (τιμή στο βάθος του δωματίου)	> 1
Κτίρια κατοικιών με κατακόρυφα παράθυρα σε δύο γειτονικούς τοίχους (τιμή στο μέσο του δωματίου)	> 1
Κτίρια γραφείων με κατακόρυφα παράθυρα σε δύο γειτονικούς τοίχους (τιμή στο βάθος του δωματίου)	> 1.75
Κτίρια με φεγγίτες οροφής και για αποφυγή υπερθέρμανσης	< 10

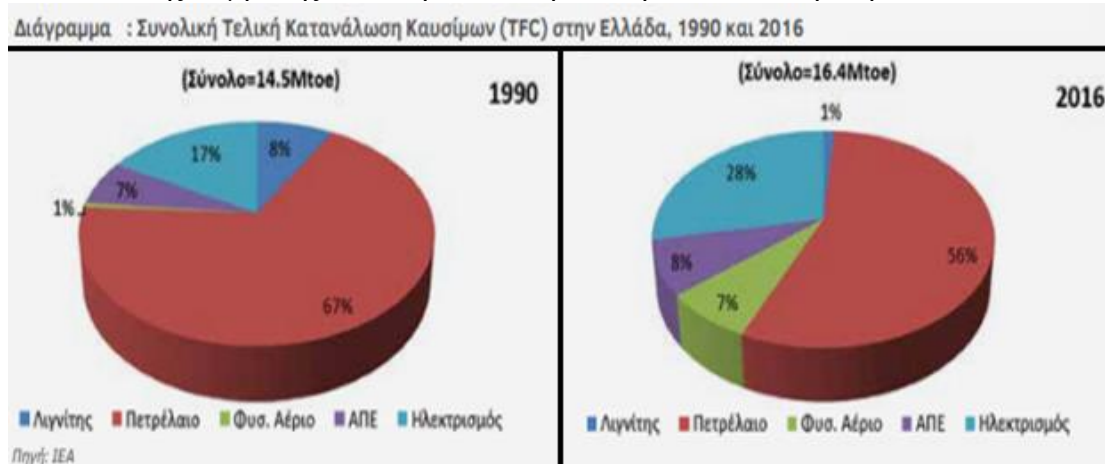
Η τιμή του DF, λοιπόν, ποικίλει ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας για την οποία χρησιμοποιείται ο κάθε χώρος. Στη Μεγάλη Βρετανία π.χ. απαιτείται για τις σχολικές αίθουσες ελάχιστη τιμή DF 2%, ενώ στους διαδρόμους και άλλους βοηθητικούς χώρους η τιμή είναι περίπου στο 0.3%.

Η θερμική άνεση αφορά το πόσο άνετα αισθάνεται κάποιος σε ένα χώρο συγκριτικά με τη θερμοκρασία που επικρατεί σε αυτόν. Η ικανοποίηση αυτή επηρεάζεται από προσωπικούς παράγοντες, όπως πχ. η διάθεση, από οργανικούς αλλά και από περιβαλλοντολογικούς, οι οποίοι επηρεάζουν τη θερμική άνεση του χώρου. Τέτοιοι είναι η θερμοκρασία, η υγρασία κτλ. Η θερμική άνεση σε ένα χώρο γίνεται αντιληπτή από έναν οργανισμό μέσω της όρασης, της όσφρησης και της αφής. Όταν οι τρεις αυτές αισθήσεις δεν ικανοποιούνται, τότε δεν δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες στους χρήστες του κτιρίου και προκαλούνται σωματικά προβλήματα, πχ αδιαθεσία, ενώ παράλληλα μειώνεται και η αποδοτικότητά τους. Για να μπορέσει να επιτευχθεί θερμική άνεση στο χώρο, εφαρμόζονται συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού του κτιρίου. Ο σωστός σχεδιασμός αυτών είναι απαραίτητος, προκειμένου να μην καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και να μπορούν να αποδίδουν κατάλληλα διασφαλίζοντας όλες τις δυνατές συνθήκες για να επικρατεί θερμική άνεση. Ένα απλό παράδειγμα είναι η ορθή χρήση του κλιματιστικού και η ρύθμιση της θερμοκρασίας του στη σωστή τιμή, ανάλογα με την εποχή και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν [24].

## 1.4 Ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα

### 1.4.1 Εισαγωγή

Στην Ελλάδα παρατηρείται τα τελευταία χρόνια συνεχής αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η ζήτηση συνεχώς αυξάνεται και προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις αυξάνεται και η κατανάλωση. Από το 1990 και έπειτα στο σύνολο τις κατανάλωσης παρατηρήθηκε αύξηση από 14.5 Mtoe σε 16.4 Mtoe. Το ανώτατο όριο καταγράφηκε το 2007 με 21.8 Mtoe, το οποίο μειώθηκε 30% μέχρι το 2013 (έφτασε 15.3 Mtoe), λόγω της οικονομικής ύφεσης που ακολούθησε τη χρηματοπιστωτική κρίση. Στην εικόνα 1.7 φαίνεται ξεχωριστά για κάθε μορφή καυσίμου η μεταβολή του ποσοστού της συμβολής του στη συνολική τελική κατανάλωση στην Ελλάδα [6].



Εικόνα 1.7 Ενεργειακή κατανάλωση ανά μορφή καυσίμου στην Ελλάδα (1990 & 2016) [6]

Τη μεγαλύτερη συμβολή την έχει το πετρέλαιο, χρησιμοποιείται σε ποσοστό 56% στην τελική κατανάλωση σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα. Το ποσοστό του βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι έχει ελαττωθεί κατά 11% συγκριτικά με την κατάσταση που επικρατούσε το 1990. Το φυσικό αέριο, το οποίο χρησιμοποιούνταν σε ελάχιστο βαθμό με 1% ποσοστό το 1990, παρουσιάζει πλέον μεγαλύτερη συμμετοχή με 7% της τελικής κατανάλωσης. Αντίστοιχη μεταβολή, αλλά μειωτικά, παρουσίασε ο λιγνίτης, ενώ αύξηση παρατηρήθηκε και στον ηλεκτρισμό, ο οποίος συμβάλει πλέον με ποσοστό 28% το 2016, έναντι του 17% το 1990.

Η κατάσταση στον ελληνικό χώρο δείχνει προσπάθεια μείωσης της γενικότερης χρήσης των πετρελαϊκών προϊόντων. Η τελική κατανάλωση δεν πρέπει να στηρίζεται σε μορφές ρυπογόνες και επιβλαβείς προς το περιβάλλον. Το φυσικό αέριο παρά τη μικρή αύξησή του θα έπρεπε να έχει μεγαλύτερη συμβολή στην συνολική τελική κατανάλωση, ενώ η διείσδυση των ΑΠΕ θα καθιερωθεί. Υπάρχει ανάγκη ενίσχυσης σχετικών υποδομών για την πρόσβαση και σύνδεση των ΑΠΕ, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία ενός υγιούς εθνικού ενεργειακού συστήματος.

Όσον αφορά τους επιμέρους τομείς στους οποίους καταναλώνεται η ενέργεια στην Ελλάδα, μεγαλύτερη κατανάλωση παρατηρείται στον τομέα των μεταφορών με 35% ποσοστό. Σε οικιακά κτίρια και κατοικίες καταναλώνεται το 27%, στη βιομηχανία το 23%, ενώ στο εμπόριο καταναλώνεται το 15% της συνολικής ενέργειας.

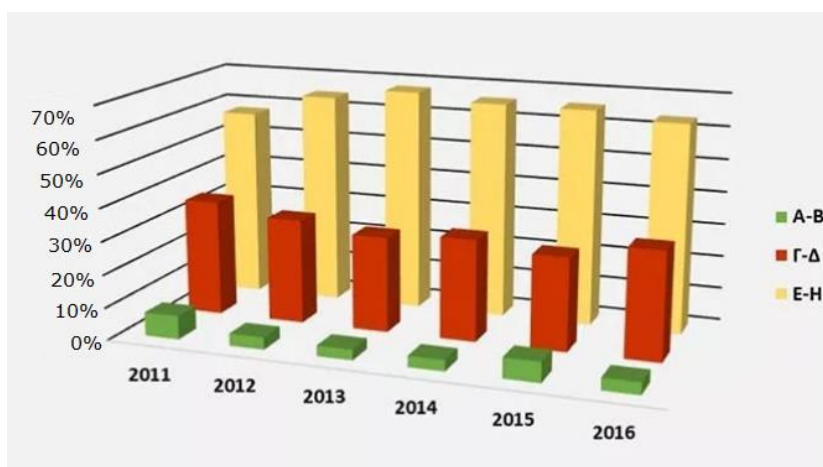


### 1.4.2 Ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα

Στον ελληνικό χώρο, όσον αφορά τον κτιριακό τομέα, το μεγαλύτερο μέρος του με ποσοστό περίπου 75% αφορά κατοικίες. Το υπόλοιπο 25% περιλαμβάνει κτίρια δημόσιας χρήσης. Από το ποσοστό αυτό, πάνω από τα μισά είναι κτίρια γραφείων & εμπορικής χρήσης, ένα ποσοστό λίγο κάτω από 20% είναι εκπαιδευτικά κτίρια και ένα λίγο μικρότερο ποσοστό είναι ξενοδοχεία, ενώ σε ποσοστό λίγο κάτω από 10% συναντώνται τα νοσοκομεία και οι κλινικές.

Παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων δαπανάται για θέρμανση, με ποσοστό κοντά στο 70%, η χρήση των συστημάτων κλιματισμού είναι συνεχής και χωρίς έλεγχο, με αποτέλεσμα να προκαλούνται προβλήματα φορτίου αιχμής στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας και να διογκώνεται το οικονομικό κόστος λειτουργίας των κτιρίων της Ελλάδας. Γίνεται ως επί το πλείστον πρόχειρος σχεδιασμός και τα περισσότερα κτίρια δεν είναι σωστά προστατευμένα από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος και ο σχεδιασμός των κτιρίων είναι ανορθόδοξος, χωρίς αρχιτεκτονική αντίληψη φιλική προς το περιβάλλον, καθώς δεν υπολογίζονται οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Όλα αυτά σε συνδυασμό με φαινόμενα όπως η αποψίλωση του αστικού πρασίνου, η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και η θερμική υποβάθμιση μεγάλων αστικών κέντρων της χώρας, οδηγούν σε μαζική χρησιμοποίηση ενεργοβόρων μηχανικών μέσων προκειμένου να εξασφαλιστεί η θερμική άνεση που έχει προαναφερθεί και ταυτόχρονη οικονομική επιβάρυνση πέρα από ενεργειακή.

Η ενεργειακή κλάση των κτιρίων, γενικότερα μπορεί να είναι από A+, στην οποία ανήκουν κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης, μέχρι H, στην οποία ανήκουν κτίρια μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης. Συνολικά υπάρχουν 9 κλάσεις. Όπως θα αναφερθεί και στην επόμενη παράγραφο 1.4.3, σύμφωνα με τον KENAK, όλα τα νέα κτίρια στην Ελλάδα θα πρέπει να ανήκουν τουλάχιστον στην κλάση B. Τα δεδομένα στη χώρα μας είναι αποθαρρυντικά. Σύμφωνα με την εικόνα 1.8, το 60% των ελληνικών κτιρίων περίπου κατατάσσονται εν έτη 2019 στην τελευταία ενεργειακή κλάση, την H ή στην προτελευταία, τη Z. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί, μόνο το 3 - 4% των ελληνικών κτιρίων ανήκουν στις ενεργειακές κλάσεις A και B και έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση [21].



Εικόνα 1.8 Κτίρια τριτογενούς τομέα ανά ενεργειακή κατηγορία στην Ελλάδα [21]



Αυτό οφείλεται, διότι το 70% των κτιρίων έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980. Δεν διαθέτουν σύγχρονα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ZNX, καθώς και θερμομονωτική προστασία και όσα κτίρια δεν έχουν αντικαταστήσει τα πεπαλαιωμένα συστήματα που διαθέτουν ή δεν έχουν κάνει τις απαραίτητες παρεμβάσεις, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, χωρίς να έχουν ανάλογη απόδοση.

Τέλος, ιδιαίτερα μικρή είναι στον ελληνικό χώρο η συνεισφορά των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή ενέργειας, η οποία προορίζεται για θέρμανση και ψύξη. Ο μέσος όρος στην ΕΕ είναι περίπου 20% και στη χώρα μας δεν αντιπροσωπεύουν ούτε το 10% της συνολικής παραγωγής. Άλλες χώρες όπως η Σουηδία, η Δανία και η Φινλανδία αξιοποιούν τις ΑΠΕ σε πολύ μεγάλο βαθμό, παράγοντας μέσω αυτών τη μισή τους περίπου ενέργεια για θέρμανση και ψύξη, εξοικονομώντας έτσι και οικονομικούς πόρους, χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον.

### *1.4.3 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων*

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) συντάχθηκε με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Η συγκεκριμένη ρυθμιστική διάταξη περιλαμβάνεται στο Νόμο 3661 του έτους 2008 (ΦΕΚ 89/Α/2008) «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις», ο οποίος τροποποιήθηκε με το άρθρο 10 του Νόμου 3851/2010. Η τελική του τροποποίηση έγινε το 2017, η οποία θέσπισε ακόμα αυστηρότερες τιμές στις απαιτήσεις θερμοπερατότητας. Αποτελείται από 9 άρθρα και θεματικές ενότητες, οι οποίες διαμορφώνουν το πλαίσιο αρχών και καθορίζουν τους όρους και τις προϋποθέσεις για την επίτευξη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Μέσω του ΚΕΝΑΚ θεσμοθετήθηκε ολοκληρωμένα ο ενεργειακός σχεδιασμός που πρέπει να εφαρμόζεται στον κτιριακό τομέα και καθορίζονται τα εξής:

- ⇒ Μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- ⇒ Ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
- ⇒ Ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων
- ⇒ Ελάχιστες προδιαγραφές για τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου
- ⇒ Κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων
- ⇒ Περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- ⇒ Πιστοποιητικό για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίου
- ⇒ Προδιαγραφές των ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων
- ⇒ Διαδικασία επιθεωρήσεων λεβήτων, εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού
- ⇒ Διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων.

Όσον αφορά τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, περιλαμβάνονται οι εξής παράμετροι:

- ο Η χρήση του κτιρίου, οι επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός), τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και το πλήθος των χρηστών.

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (μορφή και σχήμα κτιρίου, διαφανείς και μη διαφανείς επιφάνειες, σκιάστρα), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα).
- Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία).
- Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.α.).
- Η εγκατάσταση θέρμανσης χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων).
- Η εγκατάσταση ψύξης / κλιματισμού χώρων (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων).
- Η εγκατάσταση μηχανικού αερισμού (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
- Η εγκατάσταση παραγωγής ZNX (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής απόδοση συστημάτων κ.α.)
- Η εγκατάσταση φωτισμού για τα κτίρια του τριτογενή τομέα.
- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Όλα τα κτίρια θα πρέπει να συμμορφώνονται στις απαιτήσεις του KENAK προκειμένου να λαμβάνουν το απαραίτητο πιστοποιητικό, το οποίο έχει ισχύ 10 χρόνων, εκτός από την περίπτωση ριζικής ανακαίνισης του κτιρίου πριν παρέλθει η δεκαετία. Το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης περιλαμβάνει τα γενικά στοιχεία του κτιρίου, την υπολογιζόμενη ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και του εξεταζόμενου κτιρίου, την ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή ενέργειας και τελική χρήση, την πραγματική ετήσια συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας, τις υπολογιζόμενες και πραγματικές ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Έτσι, μπορούν οι καταναλωτές να συγκρίνουν και να αξιολογήσουν την πραγματική τους κατανάλωση και τις δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Σε σχέση με την ενεργειακή κατάταξη των νέων κτιρίων, καθώς και των υφισταμένων που υπόκεινται σε ριζική ανακαίνιση, θα πρέπει από τις κατηγορίες Α ως Η, με βάση την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, ψύξη, ZNX και φωτισμό, να βρίσκονται εντός του εύρους ενεργειακής κατανάλωσης της κατηγορίας Β [23].

#### *1.4.4 Κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας*

Τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας καλούνται nearly Zero Energy Buildings (nZEB). Έχουν πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση και καταναλώνουν ελάχιστα ποσά ενέργειας προκειμένου για να καλύψουν τις ανάγκες τους.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων nZEB καλύπτονται ως επί το πλείστον από ΑΠΕ, με την ενέργεια να παράγεται επί τόπου ή σε χώρο κοντά στο κτίριο. Επιπλέον διαθέτουν Η/Μ εγκαταστάσεις πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης, οι οποίες θα χρησιμοποιούν κυρίως ΑΠΕ. Μπορεί το κόστος τους να είναι 70% μεγαλύτερο από αντίστοιχα συμβατικά Η/Μ συστήματα, αλλά μέσα σε 15 χρόνια εκτιμάται ότι θα έχει

υπάρξει απόσβεση. Τα κτίρια nZEB θα απαιτούν ιδιαίτερα αποδοτικά θερμομονωτικά υλικά. Το εξωτερικό τους κέλυφος θα πρέπει να διαθέτει μεγάλο πάχος, ενώ θα τοποθετούνται επιπλέον κουφώματα μεγάλης απόδοσης, δηλαδή πλαίσια με θερμοδιακοπή, ειδικές μεμβράνες στους υαλοπίνακες και διάκενα πλήρωσης μεταξύ των υαλοπινάκων με αδρανή αέρια.

Με τα κτίρια nZEB η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει σκοπό ως το 2030 να έχει μειώσει την κατανάλωση ενέργειας έως 27%. Από το 2021 όλα τα ιδιωτικά κτίρια με βάση τελευταίο σχετικό νόμο θα κατασκευάζονται, ώστε να ανήκουν τουλάχιστον στην ενεργειακή κλάση A αντί για τη B, η οποία είναι το κατώτατο όριο σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Το νομοθετικό αυτό πλαίσιο προβλέπει τα εξής μέτρα:

- Υποχρεωτική κάλυψη τουλάχιστον του 60% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από ηλιοθερμικά συστήματα.
- Αύξηση κατά ποσοστό 5 έως 10% του συντελεστή δόμησης.
- Συμψηφισμό των προστίμων για νομιμοποίηση αυθαιρέτων με δαπάνες για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
- Αύξηση του συντελεστή απόσβεσης για επιχειρηματικές επενδύσεις που σχετίζονται με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
- Εφαρμογή προγραμμάτων ενεργειακής αναβάθμισης σε μονοκατοικίες, κτίρια του δημοσίου και του τριτογενούς τομέα με αξιοποίηση των επιχειρήσεων ενεργειακών υπηρεσιών.

Όσον αφορά το μέσο κόστος κατασκευής που εκτιμάται ότι θα αλλάξει για τις πολυκατοικίες, αυτό αναμένεται να ξεπεράσει από το 2021 τα 1800 €/τ.μ., ενώ παράλληλα θα μειωθεί αρκετά η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στα 15-20 KW/h. Οι αλλαγές αυτές είναι πολύ μεγάλες, αν αναλογιστεί κανείς ότι πριν το 2010 που εφαρμόστηκε ο KENAK το αντίστοιχο κόστος ανερχόταν στα 800-1000 €/τ.μ. με πολύ μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση, ενώ μετά την εφαρμογή του KENAK αυξήθηκε κατά 15% με 20% το μέσο κόστος. Στην περίπτωση όμως αυτή η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανερχόταν στα 75 με 80 KW/h. Κάθε αύξηση του κόστους συνδέεται με περαιτέρω ενεργειακή ενίσχυση και θωράκιση των πολυκατοικιών που επιβάλλει η εξέλιξη της εκάστοτε περιόδου και οι ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις.

Ο στόχος, λοιπόν, της νέας κτιριακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την εφαρμογή των νέων κτιρίων nZEB είναι η μαζική εξοικονόμηση ενέργειας μέσω ουσιαστικά κτιριακών επενδύσεων από την πλευρά των εργολάβων και του κοινού. Επιδίωξη είναι βέβαια μέσα σε λίγα χρόνια να υπάρχει πλήρης οικονομική και ενεργειακή απόσβεση και χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον να μπορούν τα κτίρια να καλύψουν με σύγχρονες μεθόδους τις ενεργειακές τους ανάγκες [21].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

### 2.1 Εισαγωγή

Ανεξάρτητα από την ενεργειακή πολιτική που ακολουθεί κάθε χώρα και τα μέτρα που λαμβάνει, προκειμένου να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας, υπάρχουν πολύ απλά μέσα και διατάξεις, με τα οποία μπορούν να εξοικονομηθούν μεγάλα ποσά ενέργειας στα κτίρια. Ένας πολύ σημαντικός τομέας, που απαιτείται εξοικονόμηση ενέργειας είναι και ο φωτισμός. Θα πρέπει να γίνεται η κατάλληλη επιλογή κατά το σχεδιασμό του κάθε κτιρίου, έτσι ώστε να εγκαθίστανται διατάξεις που επιτρέπουν την εξοικονόμηση ενέργειας στις ανάγκες για φωτισμό. Ιδιαίτερα με τη ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη που χαρακτηρίζει τους σύγχρονους καιρούς και επηρεάζει τις επιλογές των ανθρώπων, συνεχώς προκύπτουν νέοι τρόποι και αξιοποιούνται νέες διατάξεις, που βελτιστοποιούν τις καταναλώσεις φωτισμού, εξασφαλίζοντας πάντα την επιθυμητή απόδοση.

Οι λαμπτήρες που επιλέγονται πλέον καλύπτουν τις ανάγκες των κτιρίων, συνδυάζοντας παράλληλα χαμηλή κατανάλωση. Ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις που συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σήμερα λαμπτήρες πυρακτώσεως ή αλογόνου, καθώς η τεχνολογία τους είναι παλαιωμένη και καταναλώνουν πολύ μεγαλύτερα ποσά συγκριτικά με αντίστοιχους λαμπτήρες νέας τεχνολογίας, προκειμένου να καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις διαφόρων χώρων. Από την ΕΕ υπάρχει κεντρική οδηγία από τα προηγούμενα χρόνια για απόσυρση των λαμπτήρων αυτών, προκειμένου να χρησιμοποιούνται παντού κυρίως λαμπτήρες LED αλλά και φθορισμού. Η λειτουργία των συγκεκριμένων λαμπτήρων και ο τρόπος που επιτυγχάνουν την εξοικονόμηση ενέργειας θα αναλυθεί παρακάτω στο κεφάλαιο αυτό.

Πέρα από τους λαμπτήρες, μεγάλη σημασία έχει η επιλογή φωτιστικού. Ανάλογα με τη μορφή, το σχήμα, την απόδοση, το σημείο τοποθέτησης και την κατανομή της φωτεινής έντασης στο χώρο, εξυπηρετούνται διαφορετικοί σκοποί, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του κάθε χώρου.

Η κάλυψη όμως των αναγκών σε φωτισμό στα κτίρια δεν επιτυγχάνεται μόνο με τα τεχνητά μέσα που προαναφέρθηκαν. Μεγάλο ρόλο διαδραματίζει ο φυσικός φωτισμός και πιο συγκεκριμένα ο τρόπος με τον οποίον θα αξιοποιηθεί από το χρήστη και το σχεδιασμό του χώρου. Ιδιαίτερα, όταν η παρουσία του μπορεί να αντικαταστήσει την παροχή φωτός μέσω λαμπτήρων ή φωτιστικών, θα πρέπει να αξιοποιείται σωστά με τη βοήθεια διαφόρων αισθητήριων οργάνων ή κατάλληλου σχεδιασμού των χώρων. Σύγχρονα συστήματα ελέγχου επιτρέπουν πλέον τον κατάλληλο συνδυασμό φυσικού και τεχνητού φωτισμού, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ενεργειακή εξοικονόμηση, χωρίς να γίνονται σπατάλες. Πέρα από τα συστήματα, το κάθε κτίριο θα πρέπει είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά να είναι εξοπλισμένο με διάφορες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις και κατασκευαστικές καινοτομίες, ώστε να επιτυγχάνεται αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

## 2.2 Βασικές έννοιες φωτισμού

Προκειμένου να κατανοηθεί πλήρως ο τρόπος με τον οποίον λειτουργούν οι διατάξεις που θα περιγραφούν στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι χρήσιμο να εξηγηθεί η σημασία διαφόρων βασικών εννοιών και μεγεθών φωτισμού:

- ⇒ Η *Φωτεινή ροή* (F) εκφράζει τη συνολική ποσότητα ενέργειας φωτός που εκπέμπεται από μία πηγή ανά δευτερόλεπτο. Μονάδα μέτρησης της είναι τα lumens (lm).
- ⇒ Η *Ένταση φωτισμού* (E) εκφράζει την ποσότητα φωτός ή φωτεινής ροής, η οποία προσπίπτει πάνω σε μία επιφάνεια. Μονάδα μέτρησής της είναι τα lux (lx). Ισχύει ότι  $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$ . Η τιμή της δεν επηρεάζεται από την κατεύθυνση με την οποία προσπίπτει η φωτεινή ροή στην επιφάνεια.
- ⇒ Η *Φωτεινή ένταση* (I) εκφράζει τη φωτεινή ροή που διοχετεύεται προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση του χώρου από τη φωτεινή πηγή. Μονάδα μέτρησής της είναι η Candela (Cd). Ισχύει ότι  $1 \text{ Cd} = 1 \text{ lm} / \text{sr}$ , επομένως η φωτεινή ένταση ισούται με τη φωτεινή ροή σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, εκπεμπόμενη ανά μονάδα στερεάς γωνίας.
- ⇒ Η *θερμοκρασία χρώματος* εκφράζεται με την ισοδύναμη θερμοκρασία, στην οποία όταν βρεθεί η πηγή αναφοράς (το μέλαν σώμα του Planck), θα παράγει φως με ίδιο χρώμα με την φωτεινή πηγή. Μονάδα μέτρησής της είναι οι βαθμοί Kelvin (K).
- ⇒ Ο *δείκτης θάμβωσης* (UGR) είναι ένας δείκτης που ποσοτικοποιεί την θάμβωση που προκαλεί ένα φωτιστικό.
- ⇒ Ο *δείκτης χρωματικής απόδοσης* (CRI ή Ra) εκφράζει την ποσοτική μέτρηση της ικανότητας μίας πηγής φωτός να εμφανίζει τα χρώματα, σε σύγκριση με μια ιδανική πηγή φωτός ή με το φυσικό φως [19].

## 2.3 Τεχνολογίες Λαμπτήρων

Η εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό προϋποθέτει την κατάλληλη επιλογή τύπου λαμπτήρα. Ο κάθε λαμπτήρας διαφέρει ως προς τον τρόπο λειτουργίας του, τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, το κόστος αλλά και την απόδοσή του. Τα είδη λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται ευρύτερα σήμερα προκειμένου να καλύπτουν διάφορες εφαρμογές και να διασφαλίζουν χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, είναι οι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL) και σε μεγαλύτερο βαθμό οι λαμπτήρες LED τεχνολογίας. Η λειτουργία του καθενός θα περιγραφεί αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

### 2.3.1 Εισαγωγή στα συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων

Προκειμένου να κατανοηθεί σωστά η λειτουργία διαφόρων τύπων λαμπτήρων, θα πρέπει να αναλυθούν τα συστήματα έναυσης και λειτουργίας των λαμπτήρων. Τα ballasts ή αλλιώς ισοδύναμα στραγγαλιστικά πηνία αποτελούν ένα αντίστοιχο σύστημα. Πρόκειται για μία στραγγαλιστική διάταξη, η οποία συνδέεται μεταξύ της παροχής ρεύματος και ενός ή παραπάνω λαμπτήρων φθορισμού. Τοποθετείται σε σειρά με την παραλληλία του λαμπτήρα και του εκκινητή. Συμβάλλει στον περιορισμό του ρεύματος μέσα στους λαμπτήρες στην απαραίτητη και επιθυμητή ποσότητα, δημιουργώντας πτώση τάσης στα ηλεκτρόδια. Αποτελεί διάταξη απαραίτητη για την έναυση και λειτουργία του λαμπτήρα.

Οι δύο κυρίαρχες κατηγορίες ballast είναι τα ηλεκτρομαγνητικά και τα ηλεκτρονικά. Τα ηλεκτρομαγνητικά ballasts είναι απλά πηνία περιορισμού του ρεύματος με χαμηλό κόστος. Χαρακτηρίζονται από σημαντικές απώλειες και χαμηλό συντελεστή ισχύος, με αποτέλεσμα να απαιτείται η εγκατάσταση ενός πυκνωτή αντιστάθμισης για τη διόρθωσή του. Τα συμβατικά στραγγαλιστικά πηνία αναπτύσσουν κατά τη λειτουργία τους υψηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων. Τα φωτιστικά σώματα που λειτουργούν με συμβατικά ballasts συνεχίζουν να καταναλώνουν ρεύμα και μετά το τέλος της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων, ενώ οι διακυμάνσεις στην τάση τροφοδοσίας που παρατηρούνται, επηρεάζουν τη λειτουργία του λαμπτήρα. Σταδιακά παρατηρείται απόσυρση της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Η τεχνολογία των ballast που χρησιμοποιείται πλέον ευρέως είναι τα ηλεκτρονικά ballasts. Αποτελούν ηλεκτρονικές διατάξεις, οι οποίες λειτουργούν αθόρυβα σε υψηλές συχνότητες. Η υψίσυχνη λειτουργία τους έχει ως αποτέλεσμα να εξαιλείται στροβοσκοπικό φαινόμενο και να αποδίδουν σταθερό φως οι συνδεδεμένοι σε αυτούς λαμπτήρες. Χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά κυκλώματα στερεάς κατάστασης για την παροχή των κατάλληλων ηλεκτρικών συνθηκών εκκίνησης και λειτουργίας σε λαμπτήρες εκκένωσης. Η θερμότητα που εκλύεται αντιστοιχεί στο 1/3 της αντίστοιχης των συμβατικών ballasts. Η χρήση τους εξασφαλίζει αύξηση της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων μέχρι και 50% και η λειτουργία τους είναι οικονομικότερη, αφού η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων αυξάνεται όταν λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες. Μειώνεται λοιπόν το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, ενώ μετά το τέλος της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων, τίθενται εκτός λειτουργίας. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού και ενός ηλεκτρονικού ballast.



Εικόνα 2.1 Ηλεκτρομαγνητικό (αριστερά) και ηλεκτρονικό (δεξιά) ballast [47]

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που διακρίνει τα ballasts είναι ο τρόπος με τον οποίον εκκινούν. Υπάρχουν αυτά που είναι ταχείας εκκίνησης, τα οποία βασίζονται στη μέθοδο προθέρμανσης, έτσι ώστε όταν ανάβει ο διακόπτης να ανάβει αμέσως και η λάμπα. Κύριο προτέρημά τους είναι ότι δεν τρεμοπαίζουν, αλλά δύο μειονεκτήματα που έχουν είναι ότι όταν βρίσκονται σε χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, υπάρχει πιθανότητα να μην ενεργοποιηθούν.

Άλλη κατηγορία είναι τα ballasts άμεσης εκκίνησης, τα οποία δεν χρησιμοποιούν μέθοδο προθέρμανσης. Αντιθέτως, στέλνουν μια μεγάλη ποσότητα τάσης κατά μήκος της λάμπας κατά την έναυση. Χρησιμοποιούν 1.5 - 2 W ανά λαμπτήρα λιγότερα από τα ballasts ταχείας εκκίνησης. Οι λαμπτήρες άμεσης εκκίνησης ξεκινούν επίσης αξιόπιστα ακόμα και σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλές, όπως πχ. οι μηδενικές.

Τα ballasts προγραμματισμένης εκκίνησης, τα οποία συνδέονται συνήθως με αισθητήρες παρουσίας ή κίνησης. Με τον τρόπο αυτό μεγιστοποιεί τον αριθμό των κύκλων εκκίνησης των λαμπτήρων, ενώ διατηρεί παράλληλα την ενεργειακή απόδοση. Είναι επίσης αξιόπιστα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τέλος, υπάρχουν τα υβριδικά ballasts ή αλλιώς καθοδικής αποσύνδεσης, τα οποία διαθέτουν ένα μαγνητικό μετασχηματιστή πηνίου-πυρήνα και έναν ηλεκτρονικό διακόπτη για το κύκλωμα θέρμανσης ηλεκτροδίου. Η λειτουργία τους είναι να αποσυνδέουν το κύκλωμα θέρμανσης ηλεκτροδίου μετά την εκκίνηση των λαμπτήρων [67].

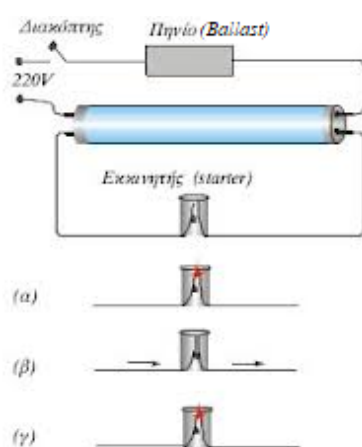
### 2.3.2 Λαμπτήρες φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού αποτελούν κατηγορία λαμπτήρων εκκένωσης χαμηλής πίεσης, οι οποίοι χρησιμοποιούν φθορισμό για την παραγωγή ορατού φωτός. Το ηλεκτρικό ρεύμα στο αέριο διεγείρει ατμούς υδραργύρου και παράγεται υπεριώδες φως μικρού μήκους, που προκαλεί έγχρωμη επικάλυψη φωσφόρου στο εσωτερικό της λάμπας. Ένας λαμπτήρας φθορισμού μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ωφέλιμο φως περίπου 5-8 φορές πιο αποτελεσματικά από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, ενώ έχουν και 10-15 φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής από αυτούς. Η τυπική απόδοση των συστημάτων φωτισμού φθορισμού είναι 50 - 100 lm/W. Όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν στραγγαλιστική διάταξη για την έναυση και τον έλεγχο της διαδικασίας παραγωγής φωτός [68].

Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η εξής: Ο εκκινητής, ο οποίος συμβάλλει στη έναυση ενός λαμπτήρα, αποτελείται από ένα διμεταλλικό έλασμα, δηλαδή ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Μόλις εφαρμοστεί η τάση δικτύου στα άκρα του λαμπτήρα, η τάση στα άκρα των ηλεκτροδίων του εκκινητή είναι επαρκής για την έναρξη της εκκένωσης αίγλης, χωρίς αυτός αρχικά να διαρρέεται από ρεύμα. Η εκκένωση αίγλης θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή και το παραμορφώνει κλείνοντας το διάκενο που έχει δημιουργηθεί. Έτσι σταματά το φαινόμενο της εκκένωσης αίγλης και το κύκλωμα ξεκινά να διαρρέεται από ισχυρό ρεύμα. Τα ηλεκτρόδια θερμαίνονται, προκαλώντας εξαγωγή ηλεκτρονίων από αυτά και παράλληλα εξατμίζεται ο υδράργυρος. Κατά την στιγμιαία αποδιέγερση προκαλείται εκπομπή φωτονίων που ανήκουν στο υπεριώδες φάσμα. Μέσω του φωσφόρου που υπάρχει στο περίβλημα με την μορφή αλάτων πυριτίου βορίου ή βολφραμίου,



μετατρέπεται η υπεριώδεις ακτινοβολία σε ορατό φως. Αυτό φυσικά σημαίνει ότι η ποιότητα φάσματος εξαρτάται από την ποιότητα της πούδρας φωσφόρου που έχει τοποθετηθεί στην εσωτερική πλευρά του λαμπτήρα. Ταυτόχρονα, λόγω της διακοπής της εκκένωσης αίγλης, το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή ψύχεται και επανέρχεται στην αρχική του θέση διακόπτοντας το κύκλωμα. Η διακοπή αυτή προκαλεί, με τη βοήθεια του στραγγαλιστικού πηνίου (ballast), στα άκρα του λαμπτήρα φθορισμού επαγωγική τάση με αρκετά μεγαλύτερη τιμή από την τάση δικτύου. Έτσι πραγματοποιείται εκκένωση, μέσω των ατμών του υδραργύρου που παρήχθησαν από την εξάτμιση σταγόνων υδραργύρου μέσα στο λαμπτήρα από τη θέρμανση των νημάτων του. Όσο λειτουργεί ο λαμπτήρας φθορισμού ο εκκινητής παραμένει εκτός κυκλώματος, διότι η τάση λειτουργίας του εκκινητή είναι μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας του λαμπτήρα. Οι φάσεις λειτουργίας του εκκινητή για το κύκλωμα παρουσιάζονται στην εικόνα 2.2 [32].



**Εικόνα 2.2** Κύκλωμα λειτουργίας λαμπτήρα φθορισμού και φάσεις λειτουργίας του εκκινητή [32]

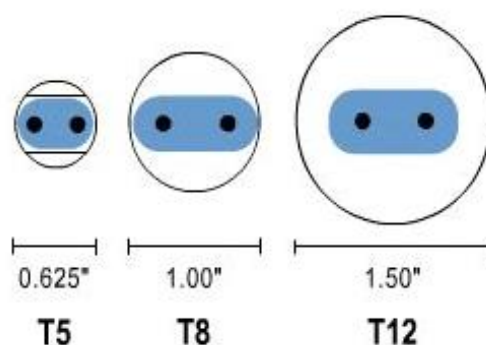
Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες λαμπτήρων φθορισμού. Αυτές είναι οι *σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού* και οι *συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL)*.

Οι σωληνωτοί λαμπτήρες χρησιμοποιούν για την ονομασία τους ένα γράμμα, το οποίο συνοδεύεται από έναν αριθμό. Το σχήμα τους καθορίζει το γράμμα του λαμπτήρα (συνήθως T, από το Tubular) και η διάμετρος του σωλήνα, μετρημένη σε όγδοα της ίντσας, προσδιορίζει τον αριθμό του λαμπτήρα. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι σωληνωτών λαμπτήρων φθορισμού, οι οποίοι απεικονίζονται στην εικόνα 2.3, είναι οι εξής:

T5: Σωληνοειδής με διάμετρο σωλήνα 5/8 της ίντσας (16 mm).

T8: Σωληνοειδής με διάμετρο σωλήνα 8/8 της ίντσας

T12: Σωληνοειδής με διάμετρο σωλήνα 12/8 της ίντσας (38 mm).



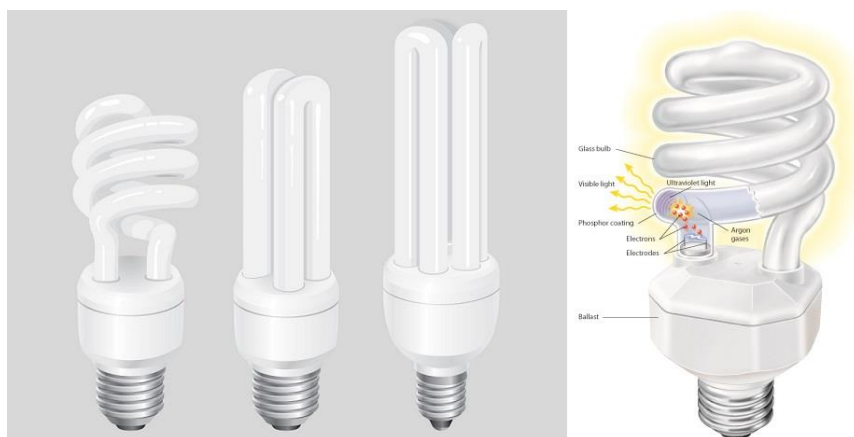
**Εικόνα 2.3** Σωληνωτοί λαμπτήρες με διαφορετική διάμετρο [34]

Οι T12 είναι κατηγορία λαμπτήρων φθορισμού παλαιότερης γενιάς, οι οποίοι παράγουν φως μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, η οποία θεωρείται λιγότερο αποδοτική μέθοδος δημιουργίας φωτός συγκριτικά με εκείνη των νεότερων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Οι T5 και T8 είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται συνήθως σε διάφορα γραφεία και αίθουσες και δημιουργούν φως, μέσω προηγμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Συγκριτικά μεταξύ τους οι λαμπτήρες T5 είναι μεν 40% μικρότεροι από τους T8, αλλά μπορούν να παρέχουν αντίστοιχο και συχνά ακόμα περισσότερο φως σε μικρότερες περιοχές. Ουσιαστικά, χρειάζονται περισσότεροι λαμπτήρες T8 για να παράγουν την ίδια ποσότητα φωτός που παράγεται από λιγότερους αλλά αποδοτικότερους λαμπτήρες T5. Οι λαμπτήρες T5 έχουν μεγαλύτερο κόστος από τους T8, αλλά η συντήρηση που απαιτείται είναι λιγότερη. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ικανότητα του λαμπτήρα T5 να παρέχει περισσότερα lumen/W από άλλους σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού σημαίνει μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους νέες εγκαταστάσεις φωτισμού και αναβαθμίσεις υφισταμένων εγκαταστάσεων [34].

Οι T5 έχουν χαμηλό συντελεστή αρμονικής παραμόρφωσης (THD), που εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο ballast. Διατηρείται χαμηλή, προκειμένου να αποφεύγονται ενδεχόμενες ανισορροπίες στις ηλεκτρικές γραμμές, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβη στις καλωδιώσεις, τους μετασχηματιστές ή άλλο εξοπλισμό. Οι τιμές για το συντελεστή απόδοσής του είναι υψηλές και άνω του 0.95.

Οι λαμπτήρες T5 εκπέμπουν φωτεινή ακτινοβολία στη βέλτιστη θερμοκρασία στους 35 °C και στους 25 °C για τους λαμπτήρες T8. Η διάρκεια ζωής και των δύο είναι 20000 ώρες, όπως αυτή μετριέται σε θερμοκρασίες από 15 °C ως 50 °C. Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένοι T8 παρατεταμένης διάρκειας ζωής, που διαρκούν 4000 με 10000 ώρες παραπάνω. Όσον αφορά τη συντήρηση των σωληνωτών λαμπτήρων, αυτή αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο διατηρούν την παραγωγή φωτός κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Οι T5 παρέχουν υψηλότερη φωτεινή ροή από τους λαμπτήρες T12 και T8, καθώς διατηρούν το 95% της φωτεινής ροής σε 8.000 ώρες καύσης (40% της ονομαστικής μέσης διάρκειας ζωής) [35].

Η άλλη κατηγορία είναι οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL). Οι λαμπτήρες αυτοί χρησιμοποιούν ένα σωλήνα ελικοειδή με μία ή περισσότερες στροφές ή πολλαπλούς παράλληλους σωλήνες διπλωμένους. Διαθέτουν επίσης ένα συμπαγές ηλεκτρονικό ballast στη βάση τους. Στην εικόνα 2.4 παρουσιάζεται η μορφολογία τους και ο τρόπος λειτουργίας τους:



**Εικόνα 2.4 Μορφολογία CFL λαμπτήρων και τρόπος λειτουργίας τους [48]**

Εσωτερικά περιέχουν τοξικό υδράργυρο σε χαμηλή πίεση και για αυτό πολλές χώρες απαγορεύουν την απόρριψή του στα κοινά απορρίμματα, καθώς συμβάλλουν σε φαινόμενα όπως η μόλυνση του αέρα και του υδροφόρου ορίζοντα, ακόμα και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Θα πρέπει να ανακυκλώνονται με το σωστό τρόπο, ώστε να μην απελευθερώνεται ο υδράργυρος μέσω κατάλληλης επεξεργασίας. Έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους προηγούμενους τύπους λαμπτήρων φθορισμού που περιγράφησαν. Ως τεχνολογία αντικατέστησαν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Υπάρχουν δύο τύποι CFL, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με ενσωματωμένο και μη ενσωματωμένο ballast. Οι λαμπτήρες που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία συνδυάζουν το σωλήνα και το ballast σε κοινή μονάδα. Αντικαθιστούν εύκολα τους λαμπτήρες πυρακτώσεως εξ' ολοκλήρου, μειώνοντας έτσι το κόστος και εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη απόδοση. Οι λαμπτήρες που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία έχουν το ballast σταθερά τοποθετημένο στο φωτιστικό σώμα και συνήθως αλλάζει μόνο ο σωλήνας φθορισμού μετά το πέρας ζωής του. Εφόσον τα ballast δεν χρειάζεται να αντικατασταθούν όταν ο λαμπτήρας δεν λειτουργεί, είναι μεγαλύτερα και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκριτικά με τα ενσωματωμένα. Το κόστος τους είναι μεγαλύτερο από τους προηγούμενους.

Η απόδοση ενός τυπικού CFL είναι 50-70 lm/W, τη στιγμή που ενός τυπικού λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι 10-17 lm/W. Σε σύγκριση με ένα θεωρητικό λαμπτήρα 100% απόδοσης (680 lm/W), οι λαμπτήρες CFL έχουν κλίμακες απόδοσης φωτισμού 7-10%, έναντι 1.5-2.5% των πυρακτώσεως. Καταναλώνουν δηλαδή το 1/5 με 1/3 περίπου της αντίστοιχης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ διαρκούν 8 ως 15 φορές περισσότερο. Η τιμή αγοράς τους είναι τυπικά 3 - 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή μιας ισοδύναμης λάμπας πυρακτώσεως.

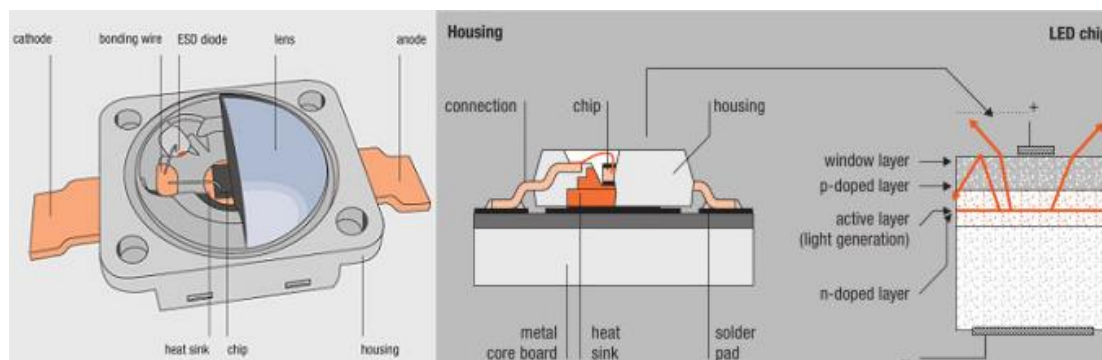
Ένα επιπλέον τους χαρακτηριστικό είναι ότι οι CFL παράγουν πολύ μικρά ποσοστά θερμότητας, συγκριτικά με τους πυρακτώσεως. Σε θερμά κλίματα ή σε γραφεία ή βιομηχανικά κτίρια όπου απαιτούνται συχνά κλιματισμοί, οι CFL μειώνουν το φορτίο στο σύστημα ψύξης σε σχέση με τη χρήση στην περίπτωση των λαμπτήρων πυρακτώσεως, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας των ίδιων των λαμπτήρων. Ωστόσο, σε ψυχρότερα κλίματα στα οποία τα κτίρια απαιτούν θέρμανση, το σύστημα θέρμανσης πρέπει να αντικαταστήσει τη μειωμένη θερμότητα από τα φωτιστικά [69].

### 2.3.3 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι

Οι δίοδοι εκπομπής φωτός (Light Emitting Diodes), αποτελούν ημιαγωγούς που εκπέμπουν φωτεινή ακτινοβολία στενού φάσματος όταν τροφοδοτούνται με μία ηλεκτρική τάση με φορά ορθής πόλωσης.

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Αυτό καθορίζεται από τη χημική σύσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται. Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται αλλά και το χρώμα του εξαρτάται από το χάσμα ενέργειας των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία περάσματος p-n (όπου p υλικό νοθευμένο με αποδέκτες και n με δότες). Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι μια επαφή p-n η οποία πολώνεται ορθά για να εγχείει ηλεκτρόνια και οπές μέσα στις p- και n- πλευρές. Το εγχεόμενο φορτίο μειονότητας επανασυνδέεται με το φορτίο πλειονότητας στην περιοχή απογύμνωσης ή

στην ουδέτερη περιοχή. Σε ημιαγωγούς αμέσου διάκενου η επανασύνδεση οδηγεί σε εκπομπή φωτός, αφού η ακτινοβόλα επανασύνδεση κυριαρχεί σε υλικά υψηλής ποιότητας. Σε υλικά έμμεσου χάσματος, η απόδοση εκπομπής φωτός είναι ιδιαίτερα φτωχή και οι περισσότερες από τις διαδρομές επανασύνδεσης είναι μη ακτινοβόλες με παραγωγή θερμότητας παρά φωτός. Στην εικόνα 2.5 παρουσιάζεται η εσωτερική δομή ενός LED σε κάτοψη και κάθετη τομή:



Εικόνα 2.5 Εσωτερική δομή ενός LED [46]

Μια δίοδος εκπομπής φωτός είναι ουσιαστικά μια ένωση p-n κατασκευασμένη από ημιαγωγό άμεσου ενεργειακού χάσματος και στην οποία η επανασύνδεση των ζευγών ηλεκτρονίων και οπών προκαλεί εκπομπή φωτονίων. Η ενέργεια των εκπεμπόμενων φωτονίων ( $h \cdot \nu$ ) ισούται προσεγγιστικά με το ενεργειακό χάσμα  $E_g$ , δηλαδή ισχύει  $E_g = E_{\text{φωτονίου}} = h \cdot \nu$ . Η δομή των LED πρέπει να είναι τέτοια, ώστε τα φωτόνια που εκπέμπονται να απομακρύνονται από την διάταξη χωρίς να απορροφώνται ξανά από το ημιαγωγίμο υλικό. Δηλαδή είτε πρέπει η p-περιοχή πρέπει να είναι επαρκώς ρηχή είτε να εφαρμόζονται διατάξεις ετεροδομών.

Η εξωτερική απόδοση ( $\eta_{\text{εξ}}$ ) ενός LED αποτελεί μέτρο απόδοσης της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή ενέργεια που εκπέμπεται εξωτερικά. Στο μέγεθος αυτό συνυπολογίζεται η εσωτερική απόδοση της ακτινοβολούσας διαδικασίας επανασύνδεσης και η απόδοση της εξόδου των φωτονίων. Η ηλεκτρική ενέργεια στην είσοδο ισούται με το γινόμενο του ρεύματος επί την ηλεκτρική τάση στα άκρα της διόδου ( $I \times V$ ). Αν η φωτεινή ισχύς που εκπέμπεται από την διάταξη συμβολίζεται με  $P_{\text{εξ}}$ , τότε:  $\eta_{\text{εξ}} = P_{\text{εξ(οπτική)}} \times 100\% / (I \cdot V)$ . Για τους ημιαγωγούς έμμεσου ενεργειακού διακένου, η τιμή της απόδοσης είναι μικρότερη από 1%, ενώ για τους ημιαγωγούς αμέσου ενεργειακού διακένου με την ορθή δομή διάταξης μπορεί να λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές.

Όταν η δίοδος εκπομπής φωτός χρησιμοποιείται με συνεχές ρεύμα, παράγεται φως στην ενεργή στρώση του ημιαγωγίμου υλικού. Το φως που παράγεται αποδεσμεύεται άμεσα ή μέσω ανακλάσεων. Ενώ οι λαμπτήρες πυρακτώσεως εκπέμπουν συνεχές φάσμα, ένα LED εκπέμπει φως σε συγκεκριμένο χρώμα. Το χρώμα αυτό εξαρτάται από το υλικό του ημιαγωγού που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Αξιοποιούνται περισσότερο δύο υλικά προκειμένου να παραχθούν LED με υψηλό βαθμό φωτεινότητας σε όλα τα χρώματα από το μπλε έως το κόκκινο. Μέσα από τη μετατροπή της φωταύγειας δημιουργείται επίσης και το λευκό. Για τη λειτουργία της διόδου σε ορθή πόλωση απαιτούνται διαφορετικά επίπεδα τάσης.

Τα LED είναι κρύσταλλοι ημιαγωγών, οι οποίοι καθώς διέρχεται στο εσωτερικό τους το ρεύμα, εκπέμπουν το φως σε κόκκινο, πράσινο, κίτρινο ή μπλε χρώμα με βάση τη σύνθεση των συστατικών του κρυστάλλου. Μία πρόσθετη φθορίζουσα στρώση με

κιτρινωπό χρώμα συμβάλλει, ώστε τα μπλε LED παράγουν επίσης λευκό φως. Μια διαφορετική μέθοδος παραγωγής λευκού φωτός, εκτός από τη φωταύγεια, είναι η μίξη κόκκινων, πράσινων και μπλε διόδων εκπομπής φωτός (RGB). Αυτή χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου η προτεραιότητα είναι τα διακοσμητικά εφέ με διάφορα πλούσια χρώματα και όχι ο λευκός φωτισμός. Τα χρώματα RGB επιτρέπουν την μίξη οποιουδήποτε αριθμού από χρωματικούς τόνους, καθώς χρησιμοποιούν διαφορετικές αναλογίες χρωμάτων.

Σήμερα η χρήση των LED αντικαθιστά στην πλειοψηφία των εφαρμογών κάθε παλαιότερο τύπο λαμπτήρα. Το γενικό κυρίαρχο πλεονέκτημά τους είναι ότι παράγουν αντίστοιχη ή υψηλότερη φωτεινή ροή, καταναλώνοντας μικρότερη ισχύ, συγκριτικά με ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως ή φθορισμού. Διαθέτουν υψηλό επίπεδο κορεσμού χρωμάτων χωρίς να απαιτείται φιλτράρισμα. Χαρακτηρίζονται από γρήγορη απόκριση. Για παράδειγμα μία τυπική κόκκινη LED μπορεί να έρθει σε κατάσταση πλήρους φωτεινότητας μέσα σε ms. Δεν περικλείουν υδράργυρο, ο οποίος είναι επικίνδυνος αν εκτεθεί στο περιβάλλον, σε αντίθεση με τις λάμπες φθορισμού. Σε αντίθεση με τις κοινές πηγές φωτός εκπέμπουν ελάχιστη θερμότητα σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας που μπορεί να προκαλέσει ζημιά σε ευαίσθητα αντικείμενα ή κατασκευές. Η ενέργεια που χάνεται διαχέεται με τη μορφή θερμότητας από τη βάση του LED. Οι ώρες λειτουργίας τους κυμαίνονται από 35000 έως 50000, πολύ παραπάνω από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, που αντιστοιχεί σε 1000 έως 2000 ώρες και τους λαμπτήρες φθορισμού, που αντιστοιχεί από 10000 έως 15000 ώρες. Σε αντίθεση με άλλους τύπους λαμπτήρων, τα LED είναι ανθεκτικά σε κραδασμούς και συγκρούσεις. Τέλος, το φως στα LED εστιάζει σε ένα συγκεκριμένο σημείο ή περιοχή, τη στιγμή που οι λάμπες πυρακτώσεως και φθορισμού απαιτούν ένα εξωτερικό ανακλαστήρα για να συλλέγει το φως και να το κατευθύνει.

Πέρα από όλα τα θετικά στοιχεία που διαθέτουν τα LED, δε λείπουν και ορισμένα αρνητικά. Το κόστος τους είναι πιο υψηλό από όλους τους υπόλοιπους τύπους λαμπτήρων. Ως διατάξεις είναι ευαίσθητες απέναντι σε τάση και θερμοκρασία [19, 46].

#### *2.3.4 Ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας φωτιστικών και λαμπτήρων LED*

Προκειμένου να επιτευχθεί η έναυση ενός φωτιστικού LED, αξιοποιούνται συγκεκριμένα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας, που καλούνται LED drivers ή οδηγοί. Αποτελούν μια αυτοδύναμη τροφοδοσία ισχύος, που ρυθμίζει την ισχύ που απαιτείται για ένα λαμπτήρα LED ή μια σειρά LED. Η ανάγκη για ειδική τροφοδοσία των διόδων εκπομπής φωτός, έγκειται στο γεγονός ότι εξασφαλίζουν χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και διαθέτουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Μέσω αυτών επιτυγχάνεται η μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος που παρέχεται από την τροφοδοσία σε συνεχές ρεύμα που χρησιμοποιείται από τα φωτιστικά LED. Η μορφή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 2.6.



**Εικόνα 2.6 Φωτογραφία ενός LED driver [70]**

Ένας οδηγός LED διορθώνει την AC τάση και μειώνει τη στάθμη της στα απαιτούμενα επίπεδα, έτσι ώστε από 120 έως 277 Volt AC να μεταβαίνει στα 12 έως 24 Volt DC. Επιπλέον παρέχουν προστασία στους λαμπτήρες LED από τις διακυμάνσεις ρεύματος και τάσης, εξασφαλίζοντας ότι η τάση και το ρεύμα στους λαμπτήρες LED παραμένουν εντός της περιοχής λειτουργίας των LED, ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις στην παροχή ρεύματος. Η προστασία αποτρέπει την υπέρβαση των ορίων στις τιμές της τάσης και του ρεύματος, γεγονός που θα υποβάθμιζε τους λαμπτήρες LED ή θα προκαλούσε ιδιαίτερα χαμηλή τιμή στην ένταση του ρεύματος, εξασθενώντας την εξαγόμενη στάθμη φωτός.

Οι LED drivers που τοποθετούνται μέσα στο λαμπτήρα ή το φωτιστικό ονομάζονται εσωτερικοί ή ενσωματωμένοι. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακούς λαμπτήρες και επομένως αντικαθίστανται, όποτε αντικαθίσταται ο λαμπτήρας. Υπάρχουν αντίστοιχα και οι εξωτερικοί, οι οποίοι βρίσκονται εξωτερικά του φωτιστικού ή του λαμπτήρα και έχουν μικρότερο κόστος αντικατάστασης, καθώς σε πιθανή βλάβη, δε χρειάζεται να αντικατασταθεί ολόκληρος ο λαμπτήρας ή το φωτιστικό. Στις περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές, ο κατασκευαστής καθορίζει τον τύπο του LED driver που θα χρησιμοποιηθεί για συγκεκριμένο φωτισμό. Εφαρμόζονται συνήθως σε εξωτερικά φωτιστικά δρόμων ή εμπορικών κέντρων [19, 45].

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την επιλογή ενός LED driver, είναι τα εξής: το μέγεθός τους, η βαθμολογία IP Ingress του περιβλήματος, η οποία δίνει ένδειξη της περιβαλλοντικής προστασίας που παρέχεται από το εξωτερικό περίβλημα του driver κατά την εισροή υγρασίας, σκόνης και άλλων αντικειμένων ή υγρών, ο συντελεστής ισχύος του, η μέγιστη ισχύς, η ικανότητα έκθλιψης και η συμμόρφωση με τα διεθνή κανονιστικά πρότυπα, όπως το πρότυπο ασφάλειας UL1310. Κατά τη λειτουργία ενός λαμπτήρα LED, ένα μεγάλο ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος που καταναλώνεται, της τάξεως του 75% ως 85%, μετατρέπεται σε θερμότητα. Η μεγάλη αύξηση θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αξιοπιστίας, όπως μετατοπίσεις μήκους κύματος, μικρή διάρκεια ζωής, ακόμη και υλική ζημιά. Η ηλεκτρονική πλακέτα ενός driver περιέχει διάφορα εξαρτήματα, όπως πυκνωτές, μετασχηματιστές και τσιπ. Ο χρόνος ζωής ενός LED driver καθορίζεται κυρίως από τη διάρκεια ζωής των πυκνωτών. Ο χρόνος του πυκνωτή πέφτει κατά το ήμισυ για κάθε αύξηση των 10 °C στη θερμοκρασία λειτουργίας. Αυτή η κατάσταση καθιστά την θερμική διαχείριση αυτών των εξαρτημάτων κρίσιμη για την αύξηση της διάρκειας ζωής του οδηγού.



Για την αποτελεσματική διάχυση της θερμότητας από τον οδηγό, χρησιμοποιούνται δύο βασικές τεχνικές στο σχεδιασμό θερμικής διαχείρισης. Η πρώτη προσέγγιση επικεντρώνεται στον ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό κυκλώματος για τη μείωση της θερμότητας που παράγεται στο driver. Η δεύτερη προσέγγιση αναπτύσσει τη θερμική λύση, όπως η αποτελεσματική αγωγιμότητα και η μετατροπή της θερμότητας σε περιβάλλοντα ψύξης μεταφοράς για τη μείωση της θερμοκρασίας του LED driver [31].

## 2.4 Φωτιστικά σώματα

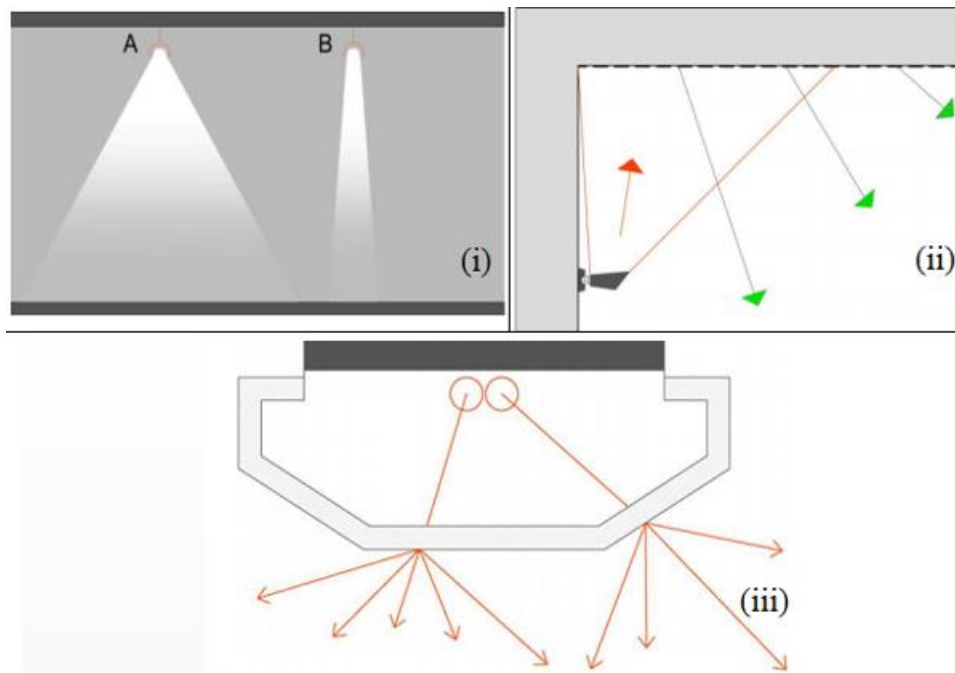
Τα φωτιστικά σώματα αποτελούν τις διατάξεις που περιβάλλουν τις φωτεινές πηγές, τροφοδοτώντας τις με ηλεκτρικό ρεύμα. Το σχήμα και η μορφολογία του κάθε φωτιστικού θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αποδίδει ο λαμπτήρας στο εσωτερικό του τη μέγιστη δυνατή φωτεινή ροή που μπορεί στο χώρο. Ανάλογα με το είδος του λαμπτήρα επιλέγεται το ανάλογο φωτιστικό.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια με βάση τα οποία κατηγοριοποιούνται τα φωτιστικά. Ένα από αυτά είναι ο τρόπος με τον οποίον διαχέει το καθένα τη φωτεινή ροή στο χώρο. Οι τρεις κυρίαρχες κατηγορίες είναι ο άμεσος φωτισμός, ο έμμεσος και ο ημιάμεσος.

Ο άμεσος χρησιμοποιείται για να φωτιστεί άμεσα ένα αντικείμενο ή στοιχείο του χώρου. Χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τον κατευθυνόμενο και τον σημειακό φωτισμό. Η χαρακτηριστική διαφορά των δύο τύπων είναι το μέγεθος της γωνίας του φωτεινού κώνου που εκπέμπει το φωτιστικό σώμα. Στον κατευθυνόμενο φωτισμό ο φωτεινός κώνος του φωτιστικού σώματος εκπέμπει φως σε ευρεία γωνία. Ο σημειακός έχει σαν βασικό χαρακτηριστικό τη στενή δέσμη φωτός που εκπέμπουν τα φωτιστικά. Ο στενός φωτεινός κώνος επιτυγχάνεται μέσω ανακλαστήρων που συγκεντρώνουν τη φωτεινή ροή που εκπέμπει ο λαμπτήρας και την ανακλούν κατευθύνοντάς την σε στενή δέσμη φωτός. Η τοποθέτηση και η γωνία του φωτός πρέπει να επιλέγονται σωστά, καθώς υπάρχει περίπτωση ο θεατής να βλέπει άμεσα τη φωτεινή πηγή του φωτιστικού και να υφίσταται οπτική όχληση λόγω του φαινομένου της θάμβωσης.

Ο έμμεσος φωτισμός στηρίζεται στην ανάκλαση του φωτός σε μία επιλεγμένη κατεύθυνση χρησιμοποιώντας ανακλαστικές με διάφορες ιδιότητες ή στοιχεία του χώρου, όπως τοίχους ή οροφή. Σημαντικό ρόλο στον έμμεσο φωτισμό διαδραματίζουν οι ανακλαστικές ιδιότητες του υλικού που χρησιμοποιείται για την ανάκλαση του φωτός. Υπάρχουν υλικά φωτιστικών που είναι αποδοτικά για την ανάκλαση του φωτός, όπως πχ. λεία ή γυαλιστερά. Υπάρχουν όμως και υλικά που δεν ευνοούν την ανάκλαση φωτός, καθώς απορροφούν μεγάλο μέρος αυτού.

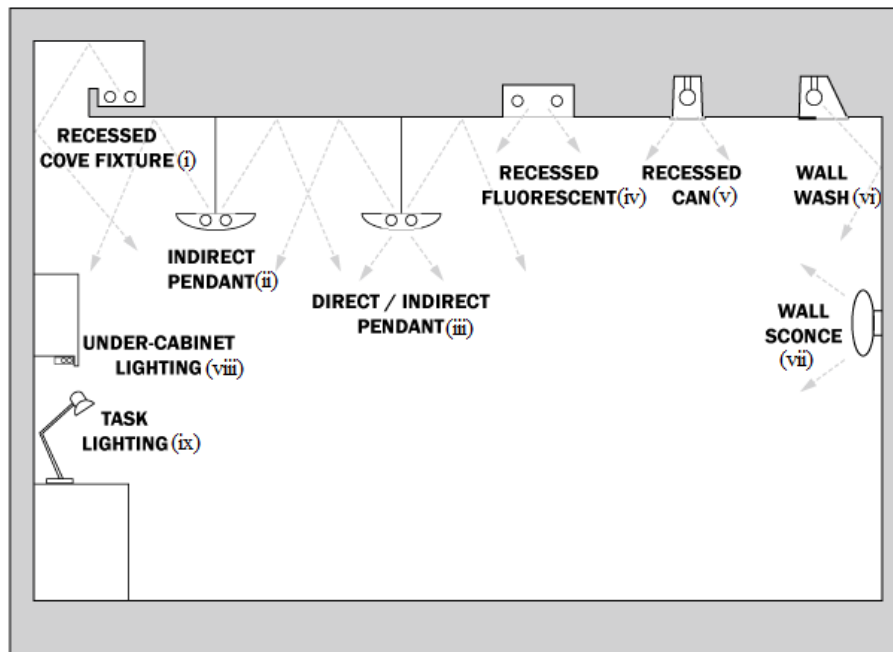
Ο ημιάμεσος φωτισμός προκύπτει με τη χρήση διαθλαστικών επιφανειών μπροστά από τον λαμπτήρα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη διάθλαση είναι ζελατίνες, γυαλί αμμοβολής, πολυκαρβονικά υλικά, οπαλίνα και ειδικές περσίδες ή σχάρες με βασικές ιδιότητες την ανάκλαση και διάχυση του φωτός σε διάφορες κατευθύνσεις και την αποφυγή άμεσης οπτικής επαφής με τον λαμπτήρα. Προκαλεί πολύ μικρότερη θάμβωση συγκριτικά με τον άμεσο. Μεγάλη εφαρμογή έχει σε χώρους γραφείων και χώρους με υπολογιστές όπως και σε κατοικίες, καταστήματα, εστιατόρια κτλ. [36]. Στην εικόνα 2.7 απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίον κατανέμεται η φωτεινή ροή σε κάθε τύπο φωτιστικού:



**Εικόνα 2.7 Τύποι κατανομής φωτεινής ροής φωτιστικών (iA) άμεσος κατευθυνόμενος (iB) άμεσος σημειακός (ii) έμμεσος (iii) ημιάμεσος [36]**

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των φωτιστικών σχετίζεται με τον τρόπο και το σημείο του χώρου όπου τοποθετούνται. Αυτά μπορεί να είναι εντοιχισμένα φωτιστικά οροφής μέσα σε άνοιγμα του τοίχου στην οροφή (2.8.i), τα οποία κατευθύνουν το φως μέσω δύο τοίχων ανακλαστικά στο χώρο και δεν είναι εμφανή από έναν παρατηρητή μέσα στο χώρο. Επιπλέον, μπορεί να είναι κρεμαστά φωτιστικά άμεσου ή έμμεσου φωτισμού, που αναρτώνται από την οροφή (2.8.ii), (2.8.iii). Χρησιμοποιούνται κυρίως στα γραφεία και σχεδιάζονται με παραλλαγές που κατανέμουν το φως προς τα άνω και προς το επίπεδο εργασίας, έτσι ώστε ο σχεδιαστής να έχει τον έλεγχο της κατανομής φωτός. Συνήθης περίπτωση είναι αυτή των χωνευτών φωτιστικών στην οροφή (2.8.iv), (2.8.v), τα οποία έχουν μέγεθος τέτοιο, ώστε να λειτουργούν με κοινά μεγέθη πλακιδίων οροφής. Τα φωτιστικά τοίχου που τοποθετούνται στην οροφή (vi), διαθέτουν ανακλαστήρες που κατευθύνουν το φως προς τον τοίχο. Συχνά χρησιμοποιούνται για την προβολή τέχνης, σήμανσης ή άλλων αντικειμένων στον τοίχο. Υπάρχουν και φωτιστικά που τοποθετούνται πάνω σε κάθετους τοίχους (2.8.vii), παρέχουν γενικό φωτισμό χώρου, αλλά είναι κυρίως διακοσμητικά. Τα φωτιστικά εργασίας (2.8.ix) μπορούν να είναι λαμπτήρες ή φωτιστικά τοποθετημένα πάνω σε γραφεία και επιτρέπουν στο άτομο να βλέπει καλύτερα τη δουλειά ή το αντικείμενο με το οποίο ασχολείται στο επίπεδο του γραφείου. Τέλος, υπάρχουν τα φωτιστικά που τοποθετούνται κάτω από ντουλάπια (2.8.viii), ώστε να γίνονται ευκολότερα οι εργασίες κάτω από πάγκους [51]. Στην εικόνα 2.8 φαίνονται αναλυτικά όλοι οι τύποι και τα σημεία τοποθέτησης των φωτιστικών σε εσωτερικούς χώρους:





Εικόνα 2.8 Τύποι φωτιστικών και σημεία τοποθέτησης [51]

Επιπλέον τα φωτιστικά που είναι χωνευτά στην οροφή και χρησιμοποιούνται κυρίως σε αίθουσες διδασκαλίας, αμφιθέατρα ή χώρους γραφείων, διαφέρουν ως προς την επιφάνειά τους. Αυτή μπορεί να έχει περσίδες, για να ανακλούν το φως σε επιθυμητές κατευθύνσεις. Όταν παρατηρείται θέμα με την στεγανότητα ή πρέπει να μειωθεί η θάμβωση, λόγω ανάκλασης σε λεία επιφάνεια, επιλέγονται φωτιστικά με πλαστικό περίβλημα και αυξημένη μηχανολογική αντοχή. Έτσι όμως επιτυγχάνεται μικρότερη απόδοση και μειωμένο φάσμα στο λαμπτήρα.

Κάθε φωτιστικό έχει δύο συντελεστές, της φωτεινής απόδοσης (LOR) και της ενεργειακής απόδοσης. Η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός φωτιστικού εγκλωβίζει μέρος της φωτεινής ροής των λαμπτήρων με αποτέλεσμα αυτό να μην εκπέμπεται προς τα έξω. Ο συντελεστής φωτεινής απόδοσης ενός φωτιστικού (LOR) εκφράζει το ποσοστό της φωτεινής ροής [63]. Προκειμένου να είναι ενεργειακά αποδεκτό, ένα φωτιστικό θα πρέπει να ξεπερνά το όριο των 55 lm/W, όπως ορίζει ο KENAK. Τέλος, με τη χρήση ανακλαστήρων επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση. Τα πιο αποδοτικά φωτιστικά διαθέτουν ανακλαστήρα από αλουμίνιο αυξημένης καθαρότητας σχεδιασμένο από εξειδικευμένα προγράμματα και προσωπικό [23].

## 2.5 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού

### 2.5.1 Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού

Η σύγχρονη εφαρμογή συστημάτων φωτισμού βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στη χρήση αισθητήρων. Μέσω αυτών επιτυγχάνεται η βέλτιστη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και η ορθή χρήση των χώρων, προκειμένου να παρέχεται φωτισμός μόνο όταν οι ανάγκες το απαιτούν. Υπάρχουν διάφορα είδη αισθητήρων, αλλά τα δύο που χρησιμοποιούνται περισσότερο και συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω φωτισμού είναι οι αισθητήρες φωτός και παρουσίας.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι αισθητήρες που ενεργοποιούνται μέσω των επιπέδων της στάθμης φωτισμού στο χώρο. Στην πιο απλή τους μορφή εμφανίζονται ως *φωτοαντιστάτες* (photoresistors) ή αισθητήρες φωτισμού (photosensors). Η τιμή της αντίστασης μειώνεται καθώς αυξάνεται η ένταση του προσπίπτοντος φωτός. Κατασκευάζονται από ημιαγωγό υψηλής αντοχής. Μέσα στο σκοτάδι μπορεί ένας αντιστάτης να έχει τιμές στην κλίμακα των MΩ, ενώ σε συνθήκες φυσικού φωτισμού μπορεί να έχει τιμές της τάξεως των 100 Ω.

Εάν το προσπίπτον φως σε ένα φωτοαντιστάτη υπερβαίνει μία συγκεκριμένη συχνότητα, τα φωτόνια που απορροφώνται από τον ημιαγωγό δίνουν στα δεσμευμένα ηλεκτρόνια αρκετή ενέργεια προκειμένου να εισέλθουν στη ζώνη αγωγιμότητας. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που προκύπτουν παράγουν ηλεκτρισμό, μειώνοντας έτσι την αντίσταση. Το εύρος αντίστασης και η ευαισθησία ενός φωτοαντιστάτη μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την εφαρμογή τους. Επιπλέον, υπάρχουν φωτοαντιστάτες, που μπορούν να αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο σε φωτόνια σε συγκεκριμένες ζώνες μήκους κύματος. Η μορφή ενός φωτοαντιστάτη και ενός αισθητήρα φωτισμού παρουσιάζονται στην εικόνα 2.9:



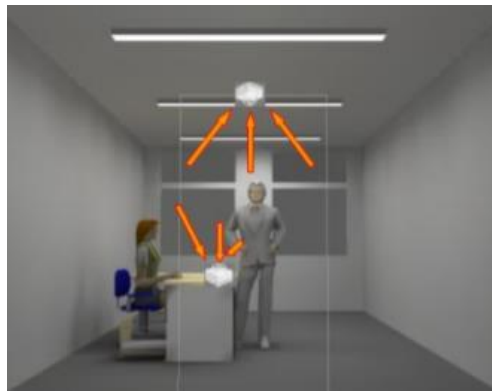
**Εικόνα 2.9 α) Φωτοαντιστάτης β) Αισθητήρας φωτισμού της Siemens με επιπρόσθετη υπομονάδα ελέγχου [42, 52]**

Στον κτιριακό τομέα τοποθετούνται σε διάφορα σημεία του χώρου προκειμένου να ανιχνεύουν τη φωτεινή ακτινοβολία. Αποτελούνται από ειδικούς φακούς για την είσοδο του φωτισμού, ένα φωτοκύτταρο που ανιχνεύει το φως και ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που παράγει το σήμα ελέγχου του συστήματος φωτισμού. Το φωτοκύτταρο μπορεί να αποτελείται είτε από φωτοαγώγιμες αντιστάσεις (CdS) είτε από φωτοδιόδους (Si). Η διάταξη μετατρέπει τα δεδομένα που λαμβάνει στην είσοδο σε σήμα εξόδου. Ανάλογα με τη στάθμη φωτισμού που επικρατεί στο χώρο, ο αισθητήρας με αυτόν τον τρόπο ελέγχει τα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας των φωτιστικών.

Έχει μία χρονική απόκριση, ώστε να ελέγχεται η συχνότητα του σήματος και να οδηγείται ο τεχνητός φωτισμός σε ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση. Το επίπεδο τάσεως της εξόδου κυμαίνεται από 0 ως 10 V DC.

Ένα κριτήριο κατάταξης των αισθητήρων φωτός είναι ως προς τη χωρική τους απόκριση. Διακρίνονται σε ευρείας και στενής δέσμης. Οι αισθητήρες ευρείας δέσμης αποδίδουν ένα ικανοποιητικό οπτικό σήμα, αλλά δημιουργούν λανθασμένη συσχέτιση επιπέδων φωτισμού επιφάνειας εργασίας και οροφής. Οι αισθητήρες στενής δέσμης έχουν μικρότερο οπτικό πεδίο, αλλά διαθέτουν καλύτερη απόκριση σε μεταβολή της έντασης φωτισμού στην προσπίπτουσα επιφάνεια.

Μεγάλη σημασία έχει η θέση στην οποία θα τοποθετηθεί ένας αισθητήρας φωτισμού σε ένα χώρο, προκειμένου να είναι αποδοτική η εφαρμογή του. Συνήθως τοποθετείται στην οροφή και προσλαμβάνει ορατή ακτινοβολία όχι μόνο από το επίπεδο εργασίας αλλά και από άλλες εσωτερικές επιφάνειες. Προκειμένου να επιτυγχάνεται πλήρης έλεγχος της έντασης φωτισμού στο επίπεδο εργασίας, η ιδανική θέση για τον αισθητήρα φωτισμού θα ήταν το επίπεδο εργασίας. Εκεί, η απόκριση του αισθητήρα ως προς την ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας θα είναι ευθέως ανάλογη, αφού βρίσκονται στο ίδιο σημείο. Το επίπεδο εργασίας, όμως, δεν είναι πρακτική θέση για την τοποθέτηση του αισθητήρα φωτισμού. Στη θέση αυτή σκιάζεται από τις δραστηριότητες στο χώρο, με αποτέλεσμα να υπάρχει ενόχληση στην ομαλή λειτουργία του. Το γεγονός της επιλογής της τοποθέτησής του στην οροφή, καθιστά πιο περίπλοκη τη λειτουργία του συνολικού συστήματος ελέγχου φωτισμού. Αυτό οφείλεται κυρίως στις πολλαπλές μεταβολές της κατανομής του φωτισμού στο χώρο, που προκαλούνται από τις αλλαγές των επιπέδων του φυσικού φωτισμού και τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται μέσα σε αυτόν το χώρο. Οι δύο προαναφερθείσες θέσεις τοποθέτησης αισθητήρων στο χώρο, παρουσιάζονται στην εικόνα 2.10:



**Εικόνα 2.10 Τυπική (οροφή) και ιδανική αλλά μη πρακτική θέση (επίπεδο εργασίας) τοποθέτησης ενός αισθητήρα φωτισμού σε γραφείο [42]**

Παρά τα πλεονεκτήματα που μπορεί να αποφέρει η χρήση αισθητήρων φωτισμού και συνεπώς με τη λειτουργία τους, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα, που σε αρκετές περιπτώσεις αποτρέπουν την εφαρμογή τους σε διάφορες εγκαταστάσεις. Αυτά αφορούν το αυξημένο κόστος κατασκευής, λόγω του κόστους υλικών και εργασίας για την εγκατάστασή τους, το αυξημένο ρίσκο για επένδυση σε μια νέα τεχνολογία, την πεποίθηση ότι οι χρήστες ενοχλούνται από τον αυτόματο έλεγχο φωτισμού και επιθυμούν την διαχείριση του φωτισμού χωρίς αυτοματισμούς, καθώς και την αντίληψη ότι ο αυτόματος έλεγχος με ηλεκτρονικά συστήματα, τα οποία

μπορούν να προσαρμόσουν την ένταση φωτισμού, είναι αναξιόπιστος ή δε λειτουργεί με τον κατάλληλο τρόπο [42].

Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση φωτιστικών ή η ρύθμιση της στάθμης φωτισμού, μέσω ενός αισθητήρα φωτισμού, εξασφαλίζει εξοικονόμηση ενέργειας και μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα φωτός της ημέρας. Οι περισσότεροι αισθητήρες φωτισμού είναι ρυθμισμένοι, ώστε να ανιχνεύουν το φως που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας από διαφορετικές κατευθύνσεις, με την ευαισθησία κατεύθυνσης που υπαγορεύεται από τα οπτικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα.

Η απόδοση της εφαρμογής του αισθητήρα φωτισμού διαπιστώνεται στις περιπτώσεις όπου είναι έντονη η παρουσία φυσικού φωτός, που ενεργοποιεί τον αισθητήρα και το λαμβανόμενο σήμα απενεργοποιεί τα μέσα τεχνητού φωτισμού. Οι μικροεπεξεργαστές στο σύστημα αισθητήρων φωτισμού περιέχουν ενσωματωμένους αλγόριθμους ελέγχου που ερμηνεύουν το σήμα που λαμβάνεται από το φωτοκύτταρο και στη συνέχεια ελέγχουν ένα ρελέ, πίνακα ή πηνίο για να διακόψει, να μειώσει ή να αυξήσει την ελεγχόμενη ζώνη φωτισμού. Σε ορισμένα συστήματα, ο αισθητήρας φωτισμού περιέχει αυτόν τον μικροεπεξεργαστή, ενώ σε άλλα, το σήμα μεταδίδεται σε μια ξεχωριστή συσκευή που το επεξεργάζεται, μέσω συγκεκριμένου αλγορίθμου ελέγχου.

Τα συστήματα αισθητήρων φωτισμού ταξινομούνται γενικά με τέσσερις τρόπους:

- Με τον τύπο ελέγχου που παρέχουν, είτε μεταγωγή είτε μείωση.
- Με τον προορισμό τους, για χρήση σε εσωτερικά ή εξωτερικά περιβάλλοντα.
- Με τον αλγόριθμο ελέγχου που εφαρμόζουν.
- Με το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιούν [19, 20].

### 2.5.2 Έλεγχος φωτισμού με αισθητήρες παρουσίας

Όσον αφορά τους αισθητήρες παρουσίας, αποτελούν διατάξεις που σβήνουν τα φωτιστικά, όταν δεν ανιχνεύσουν κίνηση στο χώρο για ορισμένο χρονικό διάστημα. Τα φωτιστικά ενεργοποιούνται μόνο όταν ανιχνευτεί κίνηση. Έτσι εξοικονομούνται σημαντικές ποσότητες ενέργειας και περιορίζεται η άσκοπη χρήση φωτισμού. Η μορφή ενός συνηθισμένου αισθητήρα παρουσίας παρουσιάζεται στην εικόνα 2.11.



Εικόνα 2.11 Αισθητήρας παρουσίας

Διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

**Α.** Στους αυτόνομους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα ελέγχου φωτισμού και τοποθετούνται σε τοίχο ή σε οροφή. Η εγκατάστασή τους απαιτεί διάνοιξη της οροφής ή του τοίχου, δεδομένου ότι πρέπει να συνδέονται μέσω καλωδίου

με το υπόλοιπο σύστημα ηλεκτρική παροχής. Για το λόγο αυτό καθίσταται υψηλό το κόστος εγκατάστασής τους, σε περίπτωση που γίνει κάποια ανακαίνιση του κτιρίου.

**Β.** Στους αισθητήρες με όλα τα εξαρτήματά τους στο ίδιο κεντρικό πίνακα–σημείο και συνδέονται εύκολα μέσω καλωδίων σε υπάρχοντα κουτιά στον χώρο. Αυτή είναι τελευταία τεχνολογία και εφαρμόζεται περισσότερο σε ανακαίνιση μικρών γραφείων, με αντικατάσταση των κοινών διακοπών τοίχου. Έχουν περιορισμένη ευελιξία τοποθέτησης, διότι η θέση του πίνακα είναι σταθερή, συνήθως σε ύψος 1.1 m από το δάπεδο. Ένα άλλο αρνητικό στοιχείο είναι ότι οι διαχωριστικοί τοίχοι και τα έπιπλα μπορεί να περιορίσουν την εμβέλειά του. Παρόλα αυτά, σε κατάλληλους χώρους, όπως είναι μικρά γραφεία και αίθουσες συνεδριάσεων με διακόπτες στους τοίχους, οι πίνακες είναι οικονομικοί, λόγω της χαμηλής τους τιμής και του κόστους εγκατάστασης, που είναι πολύ μικρό.

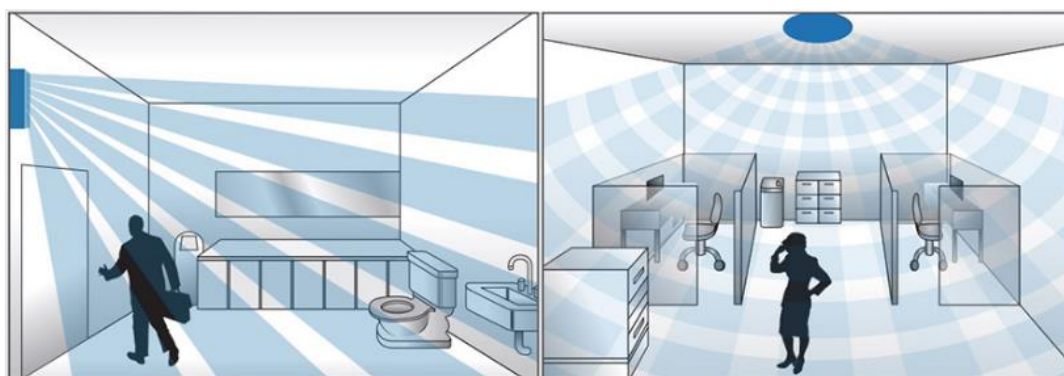
Στην περίπτωση των αισθητήρων παρουσίας χρησιμοποιούνται δύο τεχνολογίες. Η πρώτη αφορά την τεχνολογία υπέρυθρων, στην οποία ανιχνεύονται οι αλλαγές στην θέση των αντικειμένων που εκπέμπουν θερμότητα. Αναφέρονται συχνά και ως αισθητήρες παθητικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (PIR), επειδή εντοπίζουν μόνο την ακτινοβολία που υπάρχει σε ένα χώρο (δεν αποστέλλεται ενέργεια στον χώρο). Αυτές οι συσκευές συνήθως ενσωματώνουν φακό Fresnel, που κατευθύνει την ακτινοβολία που λαμβάνεται από μια σειρά κωνικών ζωνών σε μεμονωμένες υποδοχές μέσα στη συσκευή. Μια αλλαγή στο επίπεδο ακτινοβολίας που ανιχνεύεται μέσα σε μία από αυτές τις ζώνες, υποδεικνύει την κίνηση στο χώρο. Οι αισθητήρες PIR μπορούν να ανιχνεύσουν μικρότερες κινήσεις σε κοντινή απόσταση, αλλά για μεγαλύτερες κινήσεις, όπως η κίνηση ολόκληρου του σώματος, απαιτείται να προκληθεί απόκριση σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Οι αισθητήρες υπέρυθρων, λόγω του τρόπου λειτουργίας τους, πρέπει να έχουν άμεση θέα στην περιοχή που εξυπηρετούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το πεδίο θέασης μπορεί να περιοριστεί, εφαρμόζοντας μόνιμη συσκευή κάλυψης στο εσωτερικό του φακού του αισθητήρα.

Η άλλη κατηγορία είναι οι αισθητήρες υπερήχων, οι οποίοι στέλνουν ακουστική ενέργεια υψηλής έντασης ήχου για να ανιχνεύσουν κίνηση μέσα σε ένα χώρο χρησιμοποιώντας την αρχή του φαινομένου Doppler, όπου η συχνότητα των ηχητικών κυμάτων μεταβάλλεται όταν προκαλείται ανάκλαση από κινούμενα αντικείμενα. Οι αισθητήρες υπερήχων στέλνουν υψηλή ακουστικής συχνότητας ενέργεια και ελέγχουν τον ήχο που επιστρέφει για τα κύματα που ανακλούν τα κινούμενα αντικείμενα. Επειδή ο ήχος τους που εκπέμπεται ακτινοβολεί προς όλες τις κατευθύνσεις, δεν είναι δυνατόν να περιοριστεί η γωνιακή απόκριση αυτών των αισθητήρων. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αισθητήρων υπερήχων είναι η ικανότητά τους να ανιχνεύουν την κίνηση γύρω από τα χωρίσματα, ιδιαίτερα όταν το διαχωριστικό υλικό είναι σκληρό και ανακλά τα ηχητικά κύματα. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν επιπλέον μικρές κινήσεις, όπως αυτές των βραχιόνων.

Οι δύο προαναφερθείσες κατηγορίες συνδυάζονται συχνά σε υβριδικούς ή διπλής τεχνολογίας αισθητήρες πληρότητας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αξιοπιστία κατά τη λειτουργία και αποφυγή αστοχιών. Στους αισθητήρες διπλής τεχνολογίας, και οι δύο τεχνολογίες (PIR και υπερήχων) πρέπει να αντιληφθούν την κίνηση για να ενεργοποιηθεί ο φωτισμός και μόνο ένας από τους δύο απαιτείται για να διατηρήσει τα φωτιστικά ενεργοποιημένα. Ορισμένοι αισθητήρες διπλής τεχνολογίας χρησιμοποιούν ενέργεια μικροκυμάτων αντί για ηχητική ενέργεια.

Οι περισσότεροι αισθητήρες παρουσίας προσφέρουν μια δοκιμαστική λειτουργία, όπου ο χρόνος καθυστέρησης μπορεί προσωρινά να μειωθεί σε διάστημα μικρότερο από 10-30 δευτερόλεπτα για να επιβεβαιωθεί ότι διακόπτεται το σύστημα κατά την εκκαθάριση ενός χώρου και να ελεγχθεί το επίπεδο κίνησης που απαιτείται για την ενεργοποίηση του αισθητήρα. Οι περισσότεροι αισθητήρες πρόσληψης προσφέρουν επίσης μια ρύθμιση ευαισθησίας που καθορίζει την απόσταση στην οποία θα λειτουργεί ο αισθητήρας, ο οποίος μεταβάλλει τον βαθμό κίνησης που απαιτείται για να ενεργοποιηθεί η συσκευή. Οι περισσότερες συσκευές διαθέτουν εργοστασιακές ρυθμίσεις που επιτρέπουν στα συστήματα να λειτουργούν εκτός πλαισίου, αλλά αυτές οι ρυθμίσεις ενδέχεται να μην παρέχουν το βέλτιστο επίπεδο απόδοσης.

Η εξοικονόμηση ενέργειας, με την εγκατάσταση ενός αισθητήρα παρουσίας, διαφοροποιείται ανάλογα με το μέγεθος του χώρου και του σκοπού χρησιμοποίησής του, αλλά συνήθως κυμαίνεται από 35% με 45%. Στο σύστημα προβλέπεται χρονική υστέρηση, καθώς ο χρήστης συχνά μπορεί να μην κινείται στο χώρο, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι δε χρειάζεται ανοιχτά τα φωτιστικά, άρα παρεμβάλλεται λίγος χρόνος μέχρι την απενεργοποίηση. Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο βαθμό ευαισθησίας που συνάδει με κάθε χρήση επιλέγεται ο αντίστοιχος τύπος αισθητήρα παρουσίας. Παρόλα αυτά κινήσεις στο χώρο σε πολύ μικρή εμβέλεια ή πολύ αργές δεν ανιχνεύονται πάντα από αυτούς. Η εμβέλειά τους καλύπτει συνήθως από 5 έως 20 μέτρα. Στην εικόνα 2.12 ένα σύστημα αισθητήρων υπερύθρων (PIR) σε τουαλέτα β) Εφαρμογή αισθητήρων διπλής τεχνολογίας σε αίθουσα γραφείων [53]



2.12 α) Εφαρμογή αισθητήρων υπερύθρων (PIR) σε τουαλέτα β) Εφαρμογή αισθητήρων διπλής τεχνολογίας σε αίθουσα γραφείων [53]

Θα πρέπει να αποφεύγεται ο έλεγχος φωτιστικών που έχουν ως φωτεινές πηγές λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης, καθώς αυτοί απαιτούν κάποιο χρόνο μέχρι να γίνει η έναυσή τους και άρα χρειάζονται αρκετά λεπτά για να έλθουν σε πλήρη λειτουργία [19, 20, 41].

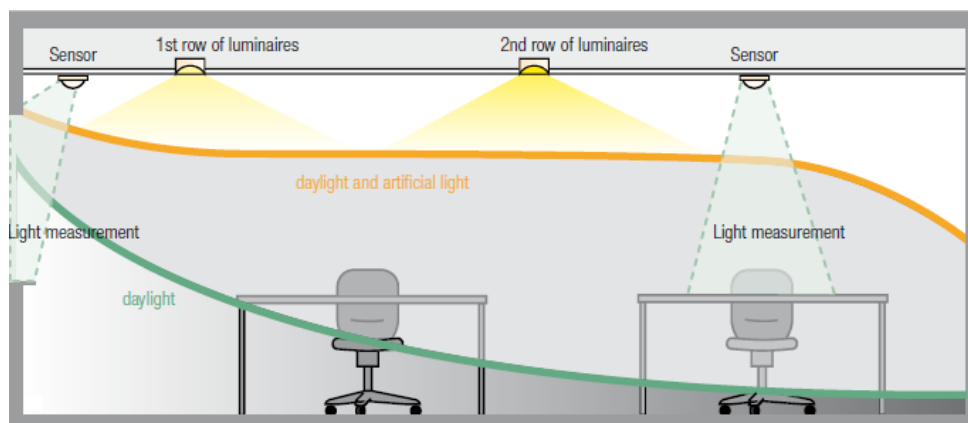
### 2.5.3 Συστήματα ελέγχου φωτισμού

Προκειμένου σε ένα κτιριακό οικοδόμημα να εξασφαλίζεται η βέλτιστη κατανομή φωτισμού στο χώρο είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου φωτισμού. Τα συστήματα αυτά, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας, αξιοποιούν την παρουσία του φυσικού φωτισμού (daylight) και με αξιοποίηση διαφόρων διατάξεων επιτρέπουν την κατάλληλη σύζευξή του με τον τεχνητό. Υπό ιδανικές συνθήκες, το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μέσω συστημάτων ελέγχου φωτισμού είναι τουλάχιστον



50-75% του ποσοστού της ενέργειας που καταναλώνεται στον φωτισμό, προκαλώντας μέσα σε λίγα χρόνια απόσβεση στο κόστος.

Ένα σύστημα ελέγχου φωτισμού, μπορεί να συνδυάζει διάφορα μέσα και μεθόδους ελέγχου φωτισμού, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Το σημαντικό στοιχείο που πρέπει να διέπει ένα σύστημα ελέγχου φωτισμού είναι η σωστή διασύνδεση των επιμέρους στοιχείων του. Στην εικόνα 2.13 παρουσιάζεται ένα αντίστοιχο σύστημα σε μία αίθουσα γραφείων.



Εικόνα 2.13 Σύστημα ελέγχου φωτισμού σε αίθουσα γραφείου [14]

Στην περίπτωση αυτή, το φυσικό φως που εισέρχεται από το παράθυρο το αντιλαμβάνεται ο πρώτος αισθητήρας φωτός. Ανάλογα με τη στάθμη του ρυθμίζει την ένταση του πρώτου και του δεύτερου φωτιστικού. Στο σύστημα συνδέεται και ο δεύτερος αισθητήρας φωτός, ο οποίος με βάση το φυσικό φως που αποδίδεται στο επίπεδο του δεξιού εδράνου, ρυθμίζει τα φωτιστικά στο επιθυμητό επίπεδο, ώστε ή να συμπληρώνουν και να παρέχουν την ένταση φωτισμού που λείπει ή να παραμένουν ανενεργά, εφόσον επαρκεί το φυσικό φως. Η αίθουσα χωρίζεται σε τρεις ζώνες, μία στην οποία επιδρά ο φυσικός φωτισμός, μία στην οποία επιδρά ο τεχνητός, και τη μεσαία, στην οποία επιδρούν και οι δύο συνεργατικά. Επομένως μέσω των τεσσάρων στοιχείων παρέχεται πλήρως η επιδιωκόμενη ένταση φωτισμού στην αίθουσα.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο που συμβάλλει ο φυσικός φωτισμός στα διάφορα συστήματα ελέγχου, μεγάλη σημασία έχει η κατάλληλη ρύθμιση της στάθμης φωτισμού (dimming) και απενεργοποίηση ή ενεργοποίηση (switching) των φωτιστικών. Οι επιλογές αυτές δίδονται με διακόπτες συνήθως, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε απλοί είτε προγραμματιζόμενοι. Ο κάθε διακόπτης δύναται να ελέγχει ένα ή περισσότερα φωτιστικά. Οι ποσότητες ενέργειας που μπορούν να εξοικονομηθούν μέσα από ένα απλό πάτημα του διακόπτη, ώστε να απενεργοποιηθούν τα φωτιστικά, όταν αυτά δεν χρειάζονται για να καλύψουν τις απαιτήσεις φωτισμού του χώρου, είναι πολύ μεγάλες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι σε διάφορους χώρους γραφείων εταιρειών, τα φωτιστικά ανεξάρτητα με το αν χρειάζονται οι όχι, παραμένουν διαρκώς ανοιχτά μέχρι το τέλος της ημέρας, όταν και απενεργοποιούνται.

### *2.5.3.1 Έλεγχος μέσω έναυσης ή σβέσης φωτιστικών*

Μέσω της έναυσης ή σβέσης φωτιστικών (switching), ο έλεγχος του φωτισμού δεν είναι τόσο ευέλικτος όσο μέσω της ρύθμισης της στάθμης φωτισμού δηλαδή του dimming. Τα παλαιότερα συστήματα φωτισμού χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά έλεγχο switching, αλλά το γεγονός ότι δεν επιτρέπουν την απόδοση της επιδιωκόμενης στάθμης φωτισμού με ακρίβεια, δεν τα καθιστούν ως βέλτιστη επιλογή. Η ρύθμιση μπορεί να γίνει μέσω συγκεκριμένων βημάτων. Μέσω του dimming όμως, μπορεί ο χρήστης να ρυθμίζει ομαλά και συνεχώς τη φωτεινότητα της λάμπας, διατηρώντας σε κάθε στιγμή την επιθυμητή στάθμη φωτισμού.

### *2.5.3.2 Έλεγχος μέσω ρύθμισης της στάθμης φωτισμού*

Ο έλεγχος του φωτισμού είναι δυνατόν να επιτευχθεί σε ένα χώρο, μέσω της ρύθμισης της στάθμης του φωτισμού στα επιθυμητά επίπεδα (dimming). Στα συστήματα φωτισμού, που η στάθμη μεταβάλλεται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, δημιουργείται ευελιξία, έτσι ώστε να προσαρμόζεται η ένταση φωτισμού με βάση την ποσότητα φυσικού φωτισμού που διαχέεται στο χώρο και τις απαιτήσεις της εκάστοτε περίπτωσης. Επιτρέπεται η ρύθμιση της έντασης επιμέρους φωτιστικών του χώρου με διαφορετικά επίπεδα έντασης, έτσι ώστε τελικά να μπορεί να αξιοποιηθεί ο βέλτιστος έλεγχος στο σχεδιασμό του φωτισμού. Αισθητήρες φωτισμού που συνδέονται με το κεντρικό σύστημα, παρέχουν τις απαραίτητες εντολές ρύθμισης, μεταβάλλοντας σταδιακά τη στάθμη, χωρίς να δημιουργείται ανομοιομορφία, όπως στην περίπτωση της ρύθμισης με διακόπτες (switching), όπου οι μεταβάσεις πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένα βήματα. Οι αίθουσες χωρίζονται σε ζώνες και ανάλογα με την απόσταση του κάθε φωτιστικού από τις επιφάνειες, μέσω των οποίων εισέρχεται στο χώρο ο φυσικός φωτισμός, εξασφαλίζεται η αντίστοιχη ρύθμιση στάθμης, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ενεργειακή εξοικονόμηση και αποδοτικότητα [42].

Τα συστήματα αυτόματης ρύθμισης φωτεινής στάθμης χρησιμοποιούν αισθητήρες φωτός και διαθέτουν επιπλέον δυνατότητες. Επειδή οι φωτεινές πηγές εκπέμπουν λιγότερο φως με το πέρασμα του χρόνου, τα συστήματα φωτισμού σχεδιάζονται συνήθως για να παράγουν περισσότερο φως, όταν οι φωτεινές πηγές είναι νέες, εξασφαλίζοντας επαρκή φωτεινότητα σε όλη τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται ως CLO (Constant Lumen Output). Η φωτεινή ροή ρυθμίζεται από τη στιγμή που αρχίζει να χρησιμοποιείται το φωτιστικό, στην αντίστοιχη τιμή που θα έχει προς στο τέλος της διάρκειας ζωής του, έπειτα από π.χ. 50.000 ώρες για ένα φωτιστικό LED. Έτσι εξοικονομείται κατά μέσο όρο το 10% του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη διάρκεια ζωής του και τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού διατηρούνται σταθερά. Η ρύθμιση του φωτισμού γίνεται ουσιαστικά με την παρουσία ενός αυτορυθμιζόμενου ballast ή driver [71].

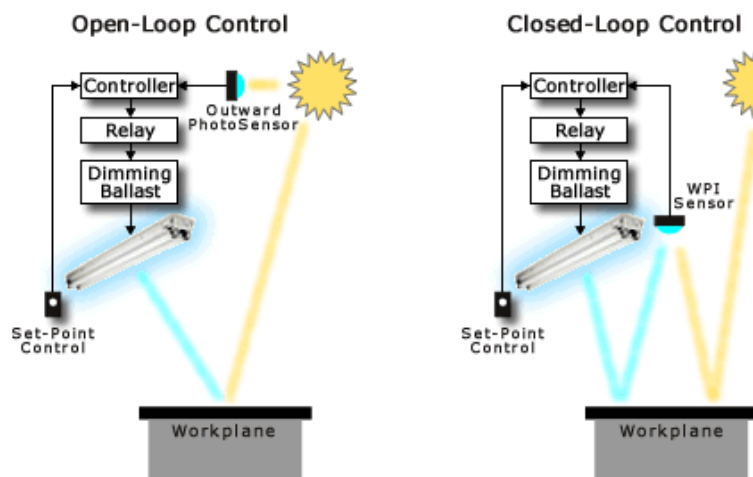
Πολλά συστήματα ελέγχου μέσω dimming έχουν τη δυνατότητα να σβήνουν αυτόματα τα φωτιστικά, όταν το επίπεδο του ημερήσιου φωτός είναι αυξημένο και καλύπτει πλήρως τις ανάγκες των χώρων. Αυτό το σύστημα dimming-and-switching έχει το μεγαλύτερο κόστος, καθώς συνδυάζει τις δύο τεχνικές, αλλά εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση [14, 43].



### 2.5.3.3 Έλεγχος με βάση τον αλγόριθμο ελέγχου του αισθητήρα φωτισμού

Υπάρχουν δύο κατηγορίες συστημάτων ελέγχου φωτισμού που αξιοποιούν το φυσικό φωτισμό με κριτήριο τον αλγόριθμο ελέγχου του αισθητήρα φωτισμού. Διακρίνονται σε συστήματα ελέγχου ανοιχτού βρόχου (open-loop) και σε συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου (closed-loop).

Οι δύο κατηγορίες συστημάτων ελέγχου παρουσιάζονται στην εικόνα 2.14:



Εικόνα 2.14 Συστήματα ελέγχου ανοιχτού & κλειστού βρόχου [43]

Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα ελέγχου ανοιχτού βρόχου (open-loop), στα οποία ο αισθητήρας προσανατολίζεται, ώστε να αντιλαμβάνεται το ημερήσιο φως απευθείας, αλλά όχι το φως που παράγεται από τον ελεγχόμενο λαμπτήρα. Το σύστημα μπορεί μόνο να εκτιμήσει τον συνολικό φωτισμό, με βάση το επίπεδο του ημερήσιου φωτός που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα και το γνωστό επίπεδο ρύθμισης (ή την κατάσταση on-off) των λαμπτήρων. Κατόπιν, ρυθμίζει το επίπεδο έντασης ή διακόπτει τους λαμπτήρες, για να διατηρήσει το συνολικό φωτισμό το επιθυμητό επίπεδο. Το αρνητικό είναι ότι επειδή ένας αισθητήρας ελέγχει όλα τα φωτιστικά θα πρέπει το σύστημα να συνδέεται με ένα κεντρικό ελεγκτή για τον πλήρη συντονισμό, άρα αυξάνεται πολύ το κόστος.

Επειδή ο έλεγχος ανοιχτού βρόχου δεν περιλαμβάνει ανατροφοδότηση, η ανάλυσή του είναι απλή. Όπως δείχνει το γράφημα απόκρισης ανοικτού βρόχου, που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.15.α, η τάση ελέγχου είναι αρνητικά ανάλογη προς το οπτικό σήμα του αισθητήρα φωτισμού. Όσο μεγαλύτερο είναι το οπτικό σήμα, τόσο χαμηλότερη είναι η τάση ελέγχου.

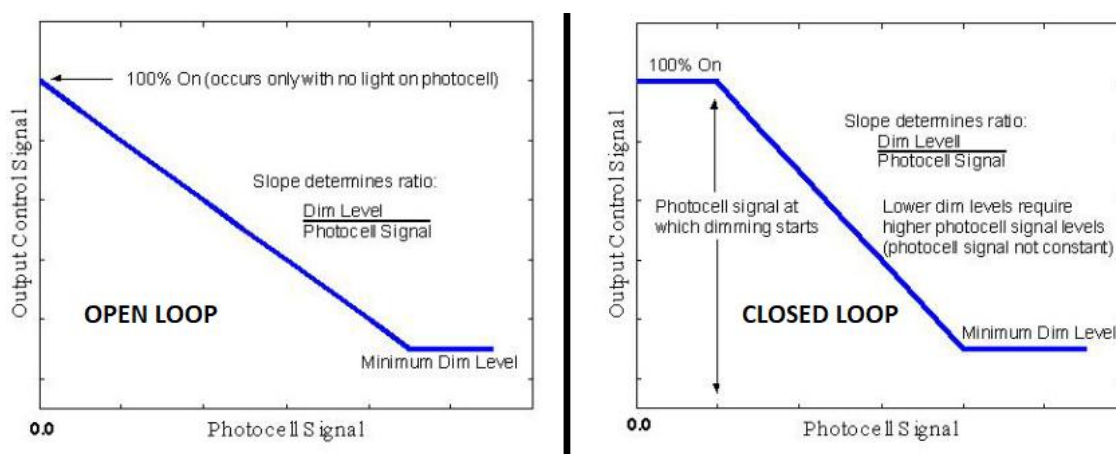
Ο έλεγχος ανοιχτού βρόχου έχει μία ρυθμιζόμενη παράμετρο - τη σταθερή αναλογία μεταξύ της τάσης ελέγχου και του οπτικού σήματος. Η σταθερά της αναλογίας είναι η κλίση της καμπύλης απόκρισης ανοικτού βρόχου. Κατά τη θέση λειτουργίας ενός αναλογικού ελέγχου ανοιχτού βρόχου, η σταθερά της αναλογίας πρέπει να προσδιορίζεται από το σήμα του αισθητήρα.

Η καμπύλη απόκρισης του αλγορίθμου ελέγχου κλειστού βρόχου είναι πανομοιότυπη με την καμπύλη απόκρισης του αλγορίθμου ελέγχου ανοιχτού βρόχου, με την προσθήκη μιας μετατόπισης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.15.β. Η μετατόπιση

αποτρέπει τη μείωση του φωτισμού, μέχρι το οπτικό σήμα του αισθητήρα να φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο σημείου ρύθμισης. Ο αλγόριθμος ελέγχου κλειστού βρόχου έχει δύο ρυθμιζόμενες παραμέτρους: τη σταθερή αναλογία μεταξύ της τάσης ελέγχου και του οπτικού σήματος εισόδου, δηλαδή την κλίση της καμπύλης απόκρισης ανοιχτού βρόχου, και τη μετατόπιση, δηλαδή το σήμα όπου ξεκινά η μείωση της στάθμης φωτισμού. Για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία λειτουργίας του αισθητήρα φωτισμού, οι δύο αυτές παράμετροι πρέπει να ρυθμίζονται ανεξάρτητα.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι ο αλγόριθμος ελέγχου κλειστού βρόχου λειτουργεί σε σύστημα κλειστού βρόχου, χρησιμοποιώντας ανατροφοδότηση, μπορεί να αντισταθμίσει ανά τακτά χρονικά διαστήματα τις αλλαγές στο επίπεδο φωτισμού του χώρου. Επομένως, παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του τεχνητού φωτισμού και συμβάλλει στην οπτική άνεση των χρηστών και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο αλγόριθμος κλειστού βρόχου χαρακτηρίζεται από ευελιξία στη ρύθμιση της σταθεράς της αναλογίας μεταξύ του χαμηλού επιπέδου και του οπτικού σήματος εισόδου. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει την αύξηση των επιπέδων φωτισμού στο επίπεδο εργασίας, καθώς ο φυσικός φωτισμός εισέρχεται στο χώρο, εάν αυτό είναι επιθυμητό από τους χρήστες. Αν και οι στρατηγικές σχεδιασμού που επιτρέπουν την αύξηση των επιπέδων φωτισμού μειώνουν την εξοικονόμηση ενέργειας, μελέτες έχουν δείξει ότι οι χρήστες προτιμούν συχνά τα υψηλότερα επίπεδα φωτισμού, λόγω μεγαλύτερης οπτικής άνεσης.



Εικόνα 2.15 α)Γράφημα απόκρισης ανοιχτού βρόχου β)Γράφημα απόκρισης κλειστού βρόχου [17]

#### 2.5.4 Προβλεπόμενος και μη προβλεπόμενος προγραμματισμός

Ένα σύστημα ελέγχου φωτισμού μπορεί να έχει δημιουργηθεί με βάση ένα συγκεκριμένο προγραμματισμό. Αυτός ο προγραμματισμός μπορεί να είναι είτε προβλεπόμενος είτε μη προβλεπόμενος. Στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνονται χώροι κτιρίων, στους οποίους γίνονται προγραμματισμένες δραστηριότητες με συγκεκριμένο ωράριο. Σε κτίρια επιχειρήσεων, σχολικά κτίρια, εμπορικά κέντρα κτλ., απαιτείται καθημερινά φωτισμός για συγκεκριμένες δραστηριότητες σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές τις ημέρας. Τα φωτιστικά ρυθμίζονται με χρονοδιακόπτες προκειμένου να παρέχουν συγκεκριμένο φως ανά χρονικό διάστημα επιλογής και συμβαδίζουν με ένα αυτοματοποιημένο πρόγραμμα. Για λόγους ασφαλείας τα

φωτιστικά δεν θα πρέπει να απενεργοποιούνται όσο ο χώρος είναι κατειλημμένος. Συνήθως εξυπηρετεί τις ανάγκες μεγάλων χώρων. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο η κατανάλωση μπορεί να περιοριστεί έως και 40%. Ο μη προβλεπόμενος προγραμματισμός εφαρμόζεται κυρίως σε βοηθητικούς χώρους κτιρίων, όπου δεν γίνεται να προβλεφθεί εκ των προτέρων η συχνότητα και ο τρόπος χρησιμοποίησής τους. Υλοποιείται μέσω αισθητήρων παρουσίας και μπορεί να φτάσει σε επίπεδα εξοικονόμησης έως και 60% [12].

## 2.6 Αρχιτεκτονικές λύσεις αξιοποίησης φυσικού φωτισμού

### 2.6.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ως βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου καλείται ο σχεδιασμός, ο οποίος στοχεύει στην εξασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, καθώς και της ποιότητας του αέρα με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Προκειμένου να το πετύχει αυτό αξιοποιεί τις διαθέσιμες περιβαλλοντικές πηγές (ήλιο, άνεμο, νερό, έδαφος) και λαμβάνει υπόψιν το κλίμα που επικρατεί σε κάθε περιοχή. Διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας στον τομέα της θέρμανσης, της ψύξης και του φωτισμού. Οι τεχνικές που χρησιμοποιεί είναι η θερμική προστασία του κελύφους, τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα συστήματα φυσικού φωτισμού και δροσισμού, καθώς και τρόποι για οργανωμένη χρήση ενέργειας, όπως πχ. θερμικές ζώνες και αποθήκευση θερμότητας στα δομικά στοιχεία των κτιρίων.

Μέσω διαφόρων μετρήσεων και προσομοιώσεων στον ελληνικό χώρο προκύπτει ότι τα βιοκλιματικά κτίρια εξοικονομούν ενέργεια περίπου 30% συγκριτικά με τα συμβατικά κτίρια και 80% συγκριτικά με παλαιότερα κτίρια χωρίς μόνωση.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός επηρεάζεται από το κλίμα που επικρατεί στην κάθε περιοχή και στηρίζεται στις ακόλουθες αρχές:

- Θερμική προστασία των κτιρίων σε κάθε εποχή του χρόνου ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, με χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων, κυρίως με τη σωστή θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του, εξασφαλίζοντας διαμπερή αερισμό.
- Απομάκρυνση της θερμότητας που συσσωρεύεται το καλοκαίρι μέσα στο κτίριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός τις νυχτερινές ώρες.
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα και για φυσικό φωτισμό σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Για να εξασφαλιστεί αυτό θα πρέπει ο προσανατολισμός των χώρων και των ανοιγμάτων να είναι κατά κύριο λόγο νότιος. Μεγάλο ρόλο λαμβάνει επίσης η διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων με βάση τις θερμικές τους ανάγκες και τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και δημιουργούν φυσικά συστήματα θέρμανσης και φωτισμού.
- Εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού και ελέγχου της φωτεινής ακτινοβολίας, προκειμένου να υπάρχει επάρκεια και ομαλή κατανομή φωτός στο χώρο.

- Προστασία κτιρίων από τον ήλιο την καλοκαιρινή περίοδο, κυρίως μέσω με σκίαση και κατάλληλη κατασκευή του κελύφους.
- Βελτίωση του κλίματος στον εξωτερικό χώρο των κτιρίων.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι αναπόσπαστο τμήμα του βιοκλιματικού σχεδιασμού και αποτελούν δομικά στοιχεία που λειτουργούν δίχως μηχανολογικά εξαρτήματα ή επιπλέον παροχή ενέργειας, ώστε να μπορούν να θερμαίνουν και να δροσίζουν τα κτίρια με φυσικό τρόπο. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- ⇒ Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.
- ⇒ Τα παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι καμινάδες αερισμού, οι οποίες διαθέτουν άνοιγμα στην κατεύθυνση του ανέμου για να συλλέγονται τα ψυχρά ρεύματα και να κατευθύνονται στο ζωτικό χώρο της οικίας. Επίσης υπάρχουν και οι ηλιακές καμινάδες, οι οποίες διαθέτουν έναν υαλοπίνακα στη νότια ή νοτιοδυτική πλευρά, ώστε με τη βοήθεια του ήλιου να θερμαίνεται η εσωτερική της επιφάνεια και να κατευθύνεται ο ζεστός αέρας προς το περιβάλλον, ανανεώνοντας με φρέσκο δροσερό αέρα την κατοικία. Τέλος θα πρέπει να εξασφαλίζεται και η παρουσία διαμπερούς αερισμού στο χώρο.
- ⇒ Τα συστήματα και οι τεχνικές φυσικού φωτισμού, όπως πχ. μέσω ηλιοσωλήνων, ραφιών φωτισμού, συστημάτων σκίασης κτλ.

Επιπλέον υπάρχουν και τα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης, όπως είναι οι ηλιακοί συλλέκτες. Αποτελούν συσκευές που συσσωρεύουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα. Ως ενεργητικά συστήματα γενικότερα θεωρούνται τα μηχανικά μέσα που συμβάλλουν στη θέρμανση και δροσισμό του χώρου, μέσω ηλιακής ενέργειας ή φυσικές δεξαμενές ψύξης, όπως πχ. τα φωτοβολταϊκά.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνδέεται με τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των παραπάνω συστημάτων, έτσι ώστε να προκύπτουν θερμικά αλλά και οπτικά οφέλη όλο το έτος [19, 25].

### 2.6.2 Ράφια φωτισμού

Τα ράφια φωτισμού (light shelves) είναι επιφάνειες επίπεδες ή καμπύλες που ανακλούν το φως της ημέρας που εισέρχεται σε ένα κτίριο στην οροφή και έπειτα το κατευθύνουν προς τις εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου. Τοποθετούνται πάνω από το επίπεδο των ματιών και έχουν επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας στο πάνω μέρος τους και κυρίως στις πλευρές του κτιρίου που «βλέπουν» στον ισημερινό, προκειμένου να εισέρχεται το μέγιστο δυνατό ηλιακό φως Στερεώνονται σε πλαίσια ανοιγμάτων του τοίχου. Αυτό που εξασφαλίζουν είναι να κατανέμουν ομοιόμορφα τη φωτεινή ακτινοβολία ακόμα και σε απομακρυσμένες επιφάνειες. Συνήθως τοποθετούνται σε χώρους γραφείων ή αίθουσες συνάντησης και εργασιακούς χώρους γενικότερα. Μπορούν να τοποθετηθούν είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά του παραθύρου, μόνο που στην πρώτη περίπτωση είναι πιο αποδοτικά. Ο συνδυασμός και των δύο εξασφαλίζει ομαλότερη διαβάθμιση και κατανομή του φωτός στο χώρο.

Ως βασικό προτέρημα έχουν το ότι μειώνουν τις ανάγκες των χώρων σε τεχνητό φωτισμό. Η παραγωγικότητα των μαθητών αυξάνεται και γίνονται πιο δημιουργικοί. Επιπλέον μειώνουν τη στάθμη φωτισμού στη ζώνη των παραθύρων, καθώς η παρουσία τους προκαλεί και σκίαση ταυτόχρονα. Παρόλα αυτά, δεν είναι αποδοτικό να τοποθετηθούν στα κτίρια περιοχών με οποιοδήποτε τύπο κλίματος. Σε τροπικά κλίματα

και περιοχές με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, η παρουσία τους αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την ηλιακή θερμότητα και δημιουργεί μεγάλο αίσθημα ζέστης στο χώρο, σε σημείο μη υποφερτό. Σε περίπτωση που επιλεγθούν να τοποθετηθούν σε τέτοιες περιοχές, θα πρέπει να εφαρμοστούν σε πολύ μικρά ανοίγματα, για να περιορίσουν τη θερμότητα που εισέρχεται στο χώρο [19, 25, 54].

Στην εικόνα 2.16 παρουσιάζεται ένα σύστημα ραφιών φωτισμού, εφαρμοσμένο στους υαλοπίνακες ενός γραφείου:



Εικόνα 2.16 Ράφια φωτισμού [54]

### 2.6.3 Ανακλαστικές περσίδες

Αποτελούν κινητά ανακλαστικά στοιχεία με μικρό μέγεθος, που τοποθετούνται στην εσωτερική ή εξωτερική επιφάνεια ενός κουφώματος ή μεταξύ διπλών κουφωμάτων. Λειτουργούν με αντίστοιχο τρόπο με τα ράφια φωτισμού, εκτρέποντας της ηλιακές ακτίνες προς την επιθυμητή κατεύθυνση στο χώρο, μέσω της οροφής. Επειδή είναι κινητές και γίνεται να επιλεγθεί η φορά τους, καθίστανται πολύ αποτελεσματικές, επιτρέποντας εύκολα τη ρύθμιση της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο. Όλες οι ανακλαστικές περσίδες μπορούν να τοποθετηθούν με διαφορετική γωνία ανάκλασης σε γυάλινες οροφές. Κατά προτίμηση τοποθετούνται εντός του μονωτικού υαλοπίνακα σταθερά και σύμφωνα με προϋπολογισμένη γωνία. Υπάρχει όμως και δυνατότητα για ανοιγόμενη και περιστρεφόμενη έκδοση.

Στο εξωτερικό τους τμήμα οι περσίδες αποτελούνται από χάλυβα ή βαμμένο αλουμίνιο για να παρέχουν την απαραίτητη αντοχή. Εσωτερικά καλύπτονται συνήθως από συνθετικό υλικό PVC. Απομακρυσμένα μπορεί κάποιος να τις ελέγχει χειροκίνητα ή ρυθμίζονται αυτόματα, μέσα από ένα σύστημα ελέγχου φωτισμού, το οποίο υπολογίζει τη θάμβωση. Στην πρώτη περίπτωση δεν μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας και φωτισμού, αλλά ελέγχεται άμεσα ο φυσικός φωτισμός από το χρήστη [25]. Στην εικόνα 2.17 απεικονίζεται η εφαρμογή ανακλαστικών περσίδων στην πρόσοψη κτιρίου στην Postdamer Platz του Βερολίνου.



**Εικόνα 2.17 Ανακλαστικές εξωτερικές περσίδες στην πρόσοψη κτιρίου στην Postdamer Platz του Βερολίνου [33]**

#### 2.6.4 Φωτοσωλήνες

Ο ηλιοσωλήνας ή φωτοσωλήνας είναι ένα σύστημα φυσικού φωτισμού, το οποίο μεγιστοποιεί τον φυσικό φωτισμό από την οροφή στον εσωτερικό χώρο οποιουδήποτε κτιρίου, ο οποίος κατά βάση είναι τυφλός και συμβάλλει στην αειφόρο ανάπτυξη. Δημιουργούν μία άνετη και ήρεμη ατμόσφαιρα, που υποβοηθά την εργασία ή την ξεκούραση και μειώνει την εξάρτηση από τον ηλεκτρισμό επιτυγχάνοντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η μία είναι κοίλες δομές, που περιέχουν το φως με ανακλαστικές επιφάνειες και η άλλη είναι διαφανή στερεά, που περιέχουν το φως με ολική εσωτερική ανάκλαση. Οι αρχές που διέπουν τη ροή του φωτός μέσω αυτών των δομών είναι εκείνες της μη οπτικής απεικόνισης. Η διάμετρός τους είναι συνήθως 10 ως 22 ίντσες. Ένα σύστημα ηλιοσωλήνων εφαρμοσμένο σε κατοικία απεικονίζεται στην εικόνα 2.18.



**Εικόνα 2.18 Εφαρμογή ηλιοσωλήνων σε κατοικία [55]**

Στο επάνω μέρος του ηλιακού σωλήνα υπάρχει ένας διαφανής πλαστικός θόλος που είναι ανθεκτικός στις καιρικές συνθήκες και επιτρέπει την είσοδο του ηλιακού φωτός. Συνήθως, ο σωλήνας έχει γυαλισμένο εσωτερικό ή είναι επενδυμένο με ανακλαστικό



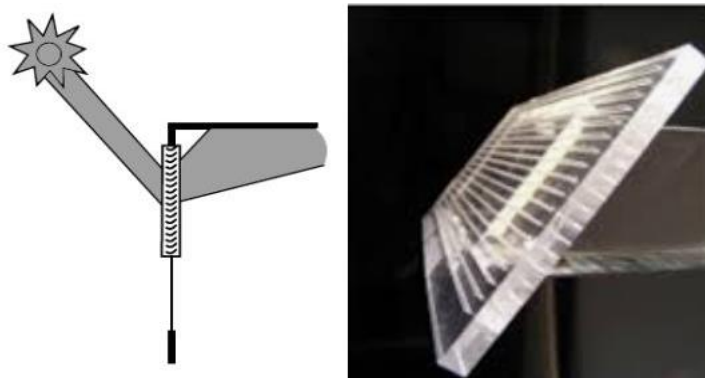
υλικό, που ενισχύει το φως καθώς διέρχεται. Στο κάτω μέρος του, στο σημείο όπου το ηλιακό φως που εισέρχεται από το «τούνελ» στο κτίριο, απλώνεται το φως και διασκορπίζεται. Το δωμάτιο γεμίζει με ισχυρή φωτεινή λάμψη. Μέσω των ηλιοσωλήνων παρέχεται ισχυρότερο φως από αυτό που παρέχουν οι φεγγίτες.

Σε οικονομικό και ενεργειακό επίπεδο, υπάρχει υψηλή αποδοτικότητα, καθώς μειώνεται η χρήση λαμπτήρων και φωτιστικών, καθώς τα δωμάτια καλύπτονται με το φυσικό αυτό τρόπο φωτισμού. Προκειμένου να έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση θα πρέπει το μήκος τους να μην είναι πολύ μεγάλο, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο μειώνεται η απόδοση της διάταξης [19, 25, 37].

### 2.6.5 Υαλοπίνακες

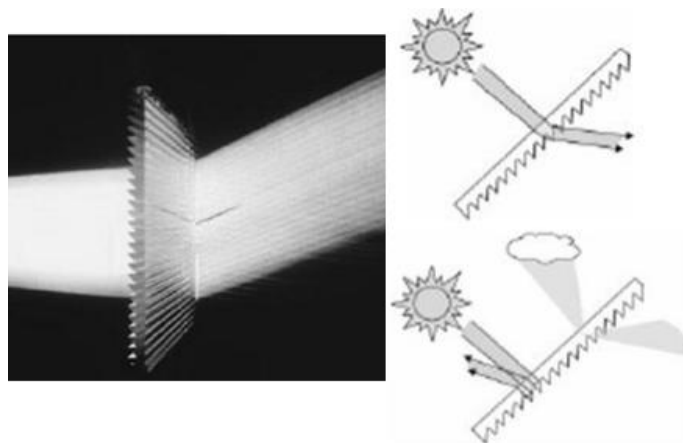
Προκειμένου να μπορεί ο φυσικός φωτισμός να εισέρχεται με τον επιθυμητό τρόπο στους χώρους ενός κτιρίου αξιοποιούνται διάφοροι τύποι υαλοπινάκων. Η παρουσία τους επιτρέπει στο φως να αλλάζει πορεία κατά την είσοδο του και να ανακατευθύνεται στο χώρο. Η ανακατεύθυνση γίνεται με συγκεκριμένες τεχνικές, ανάλογα με τον τύπο του υαλοπίνακα. Ορισμένα είδη υαλοπινάκων που συναντώνται συχνά σε κτιριακά οικοδομήματα είναι οι υαλοπίνακες που είναι επεξεργασμένοι με laser, οι πρισματικοί υαλοπίνακες και οι ολογραφικοί.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν ειδικά ακρυλικά πάνελ παράλληλα μεταξύ τους, τα οποία διαθέτουν μεγάλη ανακλαστικότητα και διανέμουν το προσπίπτον φως στην επιθυμητή κατεύθυνση. Προκειμένου να προστατεύονται από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες, όπως πχ σκόνη και βροχή, τοποθετούνται στο εσωτερικό διπλών τζαμιών. Έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν τα επίπεδα φωτισμού σε ένα δωμάτιο κατά 10% ως 30%, εξασφαλίζοντας παράλληλα ομοιόμορφη φωτεινή κατανομή. Η απόδοσή τους βελτιώνεται αν τα πάνελ προσαρμόζονται στην εκάστοτε εποχιακή περίοδο του χρόνου. Υπάρχει δυνατότητα είτε να τοποθετηθούν με συγκεκριμένη κλίση είτε να η κλίση να μεταβληθεί, προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Επειδή διαθέτουν μεγάλη διαφάνεια, επιτρέπουν τη διάδοση του φωτός ακόμα και υπό συννεφιασμένο ουρανό. Το σημείο τοποθέτησής τους είναι συνήθως πάνω από το επίπεδο του ανθρώπινου ματιού, προκειμένου να αποφεύγεται η θάμβωση από την αντανάκλαση του ηλιακού φωτός. Το μέσο κόστος τους είναι 130 ευρώ ανά  $m^2$  για μικρές περιοχές. Για μεγαλύτερες περιοχές ( $>20 m^2$ ), το κόστος προσεγγίζει τα 100 ευρώ ανά  $m^2$ . Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και για τη σκίαση του χώρου [38, 39]. Στην εικόνα 2.19 απεικονίζονται επεξεργασμένοι με laser υαλοπίνακες:



Εικόνα 2.19 Υαλοπίνακες επεξεργασμένοι με laser [56]

Όσον αφορά τους πρισματικούς υαλοπίνακες, αποτελούν ακρυλικές διατάξεις λεπτές με πριονωτό σχήμα. Μέσω αυτών επιτρέπεται η διάθλαση του φωτός, στο άνω μέρος της πριονωτής επιφάνειας και την ολική ανάκλαση αυτού στην εσωτερική επιφάνεια του πρίσματος. Η ακτίνα του φωτός που προσκρούει σε αυτόν ανακλάται ολικά, όταν για δείκτη διάθλασης 1.49 η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από  $42^\circ$ . Επιτρέπουν σύμφωνα με τις διαστάσεις τους και την κλίση με την οποία τοποθετούνται την ανακατεύθυνση του φωτός σε βάθος στον κάθε χώρο και μειώνουν τη λαμπρότητα που προκύπτει από το άνοιγμα στον τοίχο. Συχνά χρησιμοποιούνται και για σκίαση. Μειώνουν επίσης τη θάμβωση, περιορίζοντας την εισροή φωτός. Η τοποθέτησή τους γίνεται σε ανοίγματα είτε πάνω στους τοίχους είτε στο επίπεδο της οροφής και ιδιαίτερα σε σημεία που δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την εξωτερική ορατότητα. Όπως και οι υαλοπίνακες που είναι επεξεργασμένοι με laser, και αυτοί συναντώνται στο μέσο διπλών υαλοπινάκων. Προκειμένου να εξασφαλίζουν μεγαλύτερη δυνατή απόδοση επιλέγονται σε σημεία με νότιο προσανατολισμό, ενώ όταν επικρατεί εξωτερικά ηλιοφάνεια, αποδίδουν στο χώρο πιο ολοκληρωμένο και έντονο φωτισμό από την περίπτωση που ο ουρανός είναι συννεφιασμένος [38, 39]. Στην εικόνα 2.20 απεικονίζονται πρισματικοί υαλοπίνακες που ανακατευθύνουν το προσπίπτον φως:

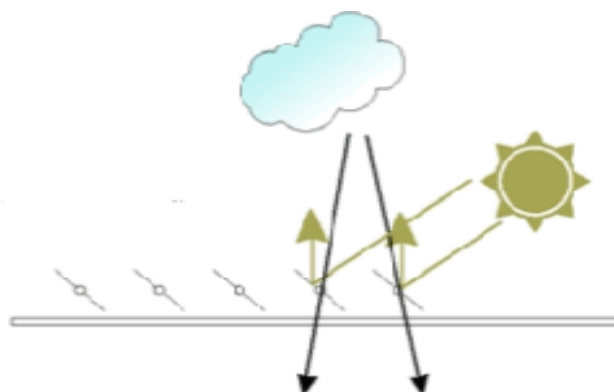


**Εικόνα 2.20 Πρισματικοί υαλοπίνακες ανακατεύθυνσης φωτός [38]**

Τέλος υπάρχουν και οι ολογραφικοί υαλοπίνακες. Στη συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν αυτοί, που μέσω περίθλασης, ανακατευθύνουν το φως σε επιλεγμένες περιοχές του χώρου. Αποτελούνται από ειδική μεμβράνη πολυμερούς υλικού με λεπτές λωρίδες, οι οποίες ευθύνονται για το φαινόμενο της περίθλασης. Ιδιαιτερότητά τους είναι ότι οι λωρίδες αυτές ανακατευθύνουν αποκλειστικά τις φωτεινές ακτίνες που προσπίπτουν υπό μία συγκεκριμένη γωνία, η οποία καθορίζεται από το σχεδιασμό των λωρίδων. Τα σημεία τοποθέτησής τους δεν πρέπει να είναι εμφανή και εκτεθειμένα στο φως, διότι λόγω του υλικού κατασκευής της η μεμβράνη προκαλεί έντονη θάμβωση σε διαφορετική περίπτωση. Και αυτοί οι τοποθετούνται ανάμεσα σε διπλούς υαλοπίνακες για προστασία. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι μπορούν να εξυπηρετήσουν ανάγκες σκίασης, καθώς έχουν τη δυνατότητα να αποκόπτουν την άμεση πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας υπό συγκεκριμένη γωνία, ενώ δεν επηρεάζουν την υπόλοιπη διάχυση του φυσικού φωτισμού μέσα από τον υαλοπίνακα



[38, 39]. Στην εικόνα 2.21 απεικονίζεται σύστημα ολογραφικών υαλοπινάκων, καθώς ανακλά τις προσπίπτουσες ακτίνες του ηλίου:



Εικόνα 2.21 Ολογραφικοί υαλοπίνακες εμποδίζουν τις φωτεινές ακτίνες υπό συγκεκριμένη γωνία [39]

### 2.6.6 Αίθρια

Τα αίθρια συμβάλλουν στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού κυρίως σε κτίρια μεγάλης επιφάνειας. Μπορεί να είναι ανοιχτά ή με κάλυψη. Η παρουσία τους επιτρέπει την είσοδο φωτεινής ακτινοβολίας στις κεντρικές ζώνες του κτιρίου. Στην περίπτωση που οι χώροι όπου τοποθετούνται τα αίθρια φωτίζονται και από κατακόρυφα ανοίγματα, αυξάνεται η στάθμη φωτισμού και η ομοιομορφία του, χωρίς να προκαλούνται θαμβώσεις. Μέσω διαρκών εσωτερικών ανακλάσεων καλύπτουν τις ανάγκες ακόμα και μεγάλων χώρων σε φωτισμό.

Τα γεωμετρικά και οπτικά χαρακτηριστικά, καθώς και οι διαστάσεις του αίθριου επηρεάζουν επίσης τη στάθμη φωτισμού των χώρων. Το ύψος του αίθριου δε θα πρέπει να υπερβαίνει το πλάτος του, προκειμένου η απόδοσή του να είναι υψηλή. Η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και η οπτική άνεση του εσωτερικού χώρου εξαρτώνται από το βαθμό ανακλαστικότητας του δαπέδου, της οροφής, των τοίχων του εσωτερικού χώρου αλλά και αντίστοιχα των υαλοπινάκων που αποτελούν το αίθριο [19, 25]. Η μορφή ενός αιθρίου σε ένα κτιριακό χώρο με πλήθος υαλοπινάκων παρουσιάζεται στην εικόνα 2.22:



Εικόνα 2.22 Αίθριο σε κτιριακό χώρο [57]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

### 3.1 Εισαγωγή

Το άτομο σε όλη τη διάρκεια τη ζωής του αποκτά γνώσεις οι οποίες διαμορφώνουν το χαρακτήρα και την προσωπικότητά του και το βοηθούν να διαμορφώσει κοινωνικές, πνευματικές και σωματικές δεξιότητες και γνώσεις. Η εκπαίδευση ξεκινά από μικρή ηλικία και συνεχίζει σε όλη τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου. Έτσι σε ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα χρειάζεται να εξασφαλιστούν ορισμένες προϋποθέσεις για να μπορεί κανείς να μαθαίνει αποτελεσματικά. Το φως αποτελεί καταλυτικό παράγοντα στην απόκτηση γνώσεων. Επιτρέπει στον καθένα να απορροφά πιο εύκολα πληροφορίες, αυξάνοντας την οπτική του αντίληψη, τις επεξεργάζεται καταλλήλως και τις αποθηκεύει. Εξάλλου, ένας σωστός φωτισμός στο χώρο μάθησης επιτρέπει τη δημιουργία θετικού κλίματος και αυξάνει τη συγκέντρωση των μαθητών.

Σε περίπτωση που ο φωτισμός είναι φτωχός προκαλείται ενόχληση και κόπωση με αποτέλεσμα να η συγκέντρωση για τους μαθητές να είναι δυσχερής. Ανάλογα με την ηλικία και τις ανάγκες των ανθρώπων που χρησιμοποιούν το φωτισμό γενικότερα, πρέπει να εφαρμόζονται διαφορετικοί σχεδιασμοί και να λαμβάνονται υπόψιν ξεχωριστές ενεργειακές απαιτήσεις στην εγκατάσταση είτε αυτή αφορά εκπαιδευτικό ίδρυμα είτε οτιδήποτε άλλο.

Κατά τις πρωινές ώρες οι μαθητές διακατέχονται από αδυναμία συγκέντρωσης. Συνεπώς, απαιτείται φωτισμός κατάλληλης στάθμης ο οποίος δύναται να κινητοποιήσει τον οργανισμό και να δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες ώστε να αρθεί το αίσθημα υπνηλίας και να ενισχυθεί η ικανότητα συγκέντρωσης των μαθητών. Ο ανθρώπινος οργανισμός ανταποκρίνεται καλύτερα σε τεχνητό φωτισμό που αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας, ακολουθώντας το φυσικό φωτισμό ως προς τη στάθμη και τη θερμοκρασία του χρώματος. Το ψυχρό φως προκαλεί εγρήγορση και αυξάνει τη δημιουργικότητα, ενώ το θερμό προκαλεί χαλάρωση. Άρα για να μπορεί να είναι κανείς αποδοτικός και να αφομοιώνει ευκολότερα νέες γνώσεις, χρειάζεται γενικότερα ψυχρό φως.

Οι παράμετροι για βιολογικά αποτελεσματικό φως είναι:

- Υψηλή ένταση φωτισμού.
- Η κατεύθυνση του φωτός πρέπει να επιλέγεται, ώστε να εισέρχεται το φως στον οφθαλμό από ψηλά και από μπροστά.
- Συνίσταται να επιλέγεται θερμοκρασία χρώματος παρόμοια με το φως της ημέρας, το οποίο θα περιέχει και το μπλε φως για μεγαλύτερη απόδοση των φωτιστικών ή των λαμπτήρων.
- Η θερμοκρασία χρώματος και η ένταση φωτισμού θα πρέπει να αλλάζουν δυναμικά, ώστε να συμβαδίζουν με την εξέλιξη του φυσικού φωτός της ημέρας [14].

### 3.2 Ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό στην εκπαίδευση

Η συνεχής αύξηση του ενεργειακού κόστους και η πίεση για μείωση εκπομπών του CO<sub>2</sub> αποτελούν μείζονα ζητήματα για πολλά σχολεία. Ο φωτισμός αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς σήμερα το 50% με 70% του ηλεκτρικού ρεύματος των εκπαιδευτικών κτιρίων καταναλώνεται μέσω παλαιάς τεχνολογίας φωτιστικών, τα οποία απορροφούν μεγάλα ποσά ενέργειας χωρίς να αποδίδουν αναλόγως. Το σβήσιμο του φωτισμού όταν η σχολική αίθουσα δεν χρησιμοποιείται προκαλεί εξοικονόμηση μέχρι και 80% και μειώνει το λειτουργικό κόστος. Ακόμα όμως και όταν χρησιμοποιείται η αίθουσα, η παρουσία αισθητήρων παρουσίας και φωτός, επιτρέπει τον κατάλληλο συνδυασμό φυσικού και τεχνητού φωτισμού, έτσι ώστε τα φωτιστικά να λειτουργούν μόνο όταν γίνεται αντιληπτή η παρουσία ατόμων στην αίθουσα ή όταν υπάρχει ανεπάρκεια άμεσου φωτισμού.

Γίνεται αντιληπτό ότι ο φωτισμός ενός «πράσινου» σχολείου βελτιστοποιεί το περιβάλλον μάθησης και εξασφαλίζει μέσω εφαρμογής καινοτόμων τεχνολογιών τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση και την απαιτούμενη ποιότητα φωτός για την ομαλή και αποδοτική λειτουργία ενός σύγχρονου εκπαιδευτικού ιδρύματος. Οι καινοτόμες λύσεις φωτισμού προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στο μαθησιακό περιβάλλον και παρέχουν μεγάλες δυνατότητες οικονομικής και ενεργειακής εξοικονόμησης, επιτυγχάνοντας τη βέλτιστη απόδοση χωρίς να επιβαρύνουν και το περιβάλλον. Ταυτόχρονα, μειώνονται και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και αυτό έχει μεγάλη σημασία, διότι τα τελευταία χρόνια, λόγω κλιματικής αλλαγής και συνεχής ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, απαιτούνται ουσιαστικές παρεμβάσεις που θα μπορέσουν σταδιακά να βελτιώσουν την κατάσταση.

Ένα σχολείο μπορεί να μεταβεί με αρκετούς τρόπους σε ενεργειακά αποδοτικό φωτισμό. Η πιο απλή λύση είναι η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων φθορισμού που λειτουργούν με ηλεκτρομαγνητικό ballast, με λαμπτήρες φθορισμού T5 με ηλεκτρονικό ballast. Προκειμένου να επιτευχθεί όμως μεγαλύτερη απόδοση και εξοικονόμηση ενδείκνυται η αντικατάσταση με λαμπτήρες σύγχρονης τεχνολογίας LED.

Γενικότερα οι εγκαταστάσεις φωτισμού στα σχολεία θα πρέπει να διασφαλίζουν ένα ευχάριστο περιβάλλον. Ο φωτισμός θα πρέπει να είναι ποιοτικός και συνάμα να ακολουθεί ορισμένες προδιαγραφές. Επειδή όμως υπάρχουν πάντα και οικονομικοί περιορισμοί, επιδιώκεται η βέλτιστη λύση για το συνδυασμό των δύο παραγόντων, με παράλληλη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού όπου είναι αυτό δυνατό. Σταδιακά, αντικαθίστανται όλες οι λάμπες πυρακτώσεως από πιο αποδοτικούς λαμπτήρες σύγχρονης τεχνολογίας, με πολύ υψηλότερη ενεργειακή απόδοση. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά για έναν αποδοτικό φωτισμό είναι οι σύγχρονες φωτεινές πηγές και φωτιστικά που ενσωματώνουν σύγχρονα συστήματα ελέγχου και ανακλαστήρες, καθώς και η αξιοποίηση αισθητήρων σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Με ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου φωτισμού η ένταση φωτισμού της σχολικής αίθουσας ελέγχεται από έναν ή περισσότερους αισθητήρες και όταν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού είναι υψηλά, τότε η στάθμη του τεχνητού φωτισμού μειώνεται με στόχο την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αισθητήρες παρουσίας είναι επίσης αποτελεσματικές διατάξεις για τον έλεγχο του τεχνητού φωτισμού. Ανιχνεύουν την

παρουσία προσώπων στις αίθουσες και στους διάφορους χώρους ενός εκπαιδευτικού ιδρύματος και απενεργοποιούν αυτόματα το φωτισμό μόλις εκκενωθεί ο χώρος [1, 14]. Στις σύγχρονες εκπαιδευτικές εγκαταστάσεις ο φωτισμός με τις νέες τεχνολογίες που επιλέγονται μειώνουν τα ετήσια λειτουργικά έξοδα και την ενεργειακή κατανάλωση σε βαθμό πολύ μεγαλύτερο από τα αρχικά κόστη τους. Είναι λοιπόν εμφανές, ότι αρκετές από τις διατάξεις που αναλύθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο και εξασφαλίζουν με διαφορετικό τρόπο η καθεμία εξοικονόμηση ενέργειας σε διάφορα κτίρια, έχουν άμεση εφαρμογή και σε σχολικά οικοδομήματα.

Πιο συνοπτικά, ορισμένα μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε εκπαιδευτικούς χώρους είναι [14]:

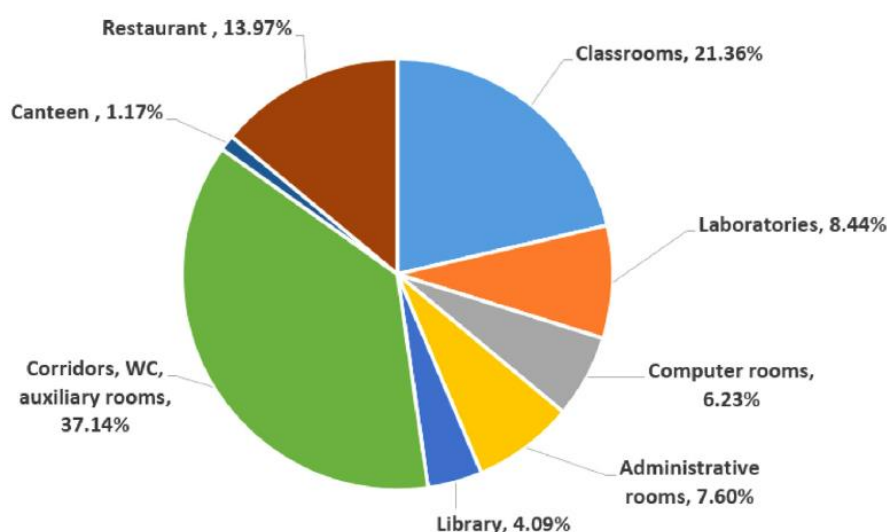
- Μέγιστη αξιοποίηση του ημερήσιου φωτός
- Ανοιχτόχρωμοι τοίχοι, οροφές και δάπεδα
- Φωτεινές πηγές και φωτιστικά υψηλής ενεργειακής απόδοσης
- Σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας φωτιστικών
- Βελτιστοποιημένοι ανακλαστήρες και οπτικά συστήματα
- Ρύθμιση στάθμης τεχνητού φωτισμού (dimming)
- Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού
- Ευφυείς στρατηγικές ελέγχου
- Δυναμική ρύθμιση φωτισμού

### 3.3 Ενεργειακή κατανάλωση τεχνητού φωτισμού στα ελληνικά σχολεία

Η κατανάλωση ενέργειας στα σχολικά κτίρια στην Ελλάδα προορίζεται για θέρμανση, φωτισμό και λειτουργία του εξοπλισμού. Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη σε αντιπροσωπευτικό δείγμα 500 σχολικών κτιρίων σε όλη την Ελλάδα, διαπιστώθηκε ότι η μέση θερμική, ηλεκτρική και συνολική κατανάλωση ενέργειας ήταν 57 kWh/m<sup>2</sup>, 12 kWh/m<sup>2</sup> και 69 kWh/m<sup>2</sup> αντίστοιχα. Ο μέσος όρος ηλικίας των κτιρίων στο δείγμα ήταν 36.5 έτη αν και σημαντικό ποσοστό (33.6%) χρονολογείται πάνω από 40 χρόνια. Όλα τα σχολεία αερίζονται φυσικά, με σύστημα κεντρικής θέρμανσης, ενώ μερικά χρησιμοποιούν τοπικές αντλίες θερμότητας για ψύξη χώρου σε χώρους γραφείων [30]. Ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα στην Ελλάδα είναι η εξασφάλιση εξοικονόμησης ενέργειας στα σχολικά κτίρια μέσω φωτισμού. Για το λόγο αυτό η κατασκευή των κτιρίων θα πρέπει εναρμονίζεται με τη δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό ο φυσικός φωτισμός και να περιοριστεί όπου επιτρέπεται η χρήση τεχνητού φωτισμού. Στην Ελλάδα, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός σχολικών κτιρίων με πεπαλαιωμένα συστήματα φωτισμού που χρησιμοποιούν φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού T8 και συχνά με λαμπτήρες φθορισμού T12 με ηλεκτρομαγνητικά ballast και διάσπαρτους ημιδιαφανείς διαχύτες. Λόγω της οικονομικής κρίσης που επικρατεί, ο δημόσιος τομέας απέτυχε να επενδύσει σε LED και παρόλο που το φως της ημέρας είναι επαρκές σε όλη τη διάρκεια του έτους, η υιοθέτηση της τεχνολογίας ελέγχου φωτισμού εξελίσσεται με αργούς ρυθμούς.

Το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τον φωτισμό στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα κυμαίνεται από περίπου 20% έως 45% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, η οποία έχει αυξηθεί κατά 20%, παρά την επιβράδυνση που υπέστη κατά την περίοδο της οικονομικής κρίσης. Τα σχολικά κτίρια διαθέτουν σχεδόν την ίδια κατανάλωση ενέργειας για τον φωτισμό με τον κτιριακό τομέα και αντιπροσωπεύουν το 17% του μη κτιριακού αποθέματος. Υπάρχουν μελέτες περιπτώσεων όπου η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για βοηθητικές χρήσεις και φωτισμό αναφέρθηκε στο 76.6% της συνολικής κατανάλωσης [2].

Προκειμένου να διερευνηθεί η ποσότητα ενεργειακής κατανάλωσης λόγω φωτισμού ανά ξεχωριστό χώρο σε ένα σχολικό κτίριο στην Ελλάδα, αξίζει να αναφερθεί η συχνότητα με την οποία χρησιμοποιούνται οι διάφοροι χώροι από τους μαθητές και τους καθηγητές ενός σχολείου. Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζονται τα επιμέρους ποσοστά:



Εικόνα 3.1 Μέσο ποσοστό χρησιμοποίησης ανά χώρο στα ελληνικά δημόσια σχολεία [2]

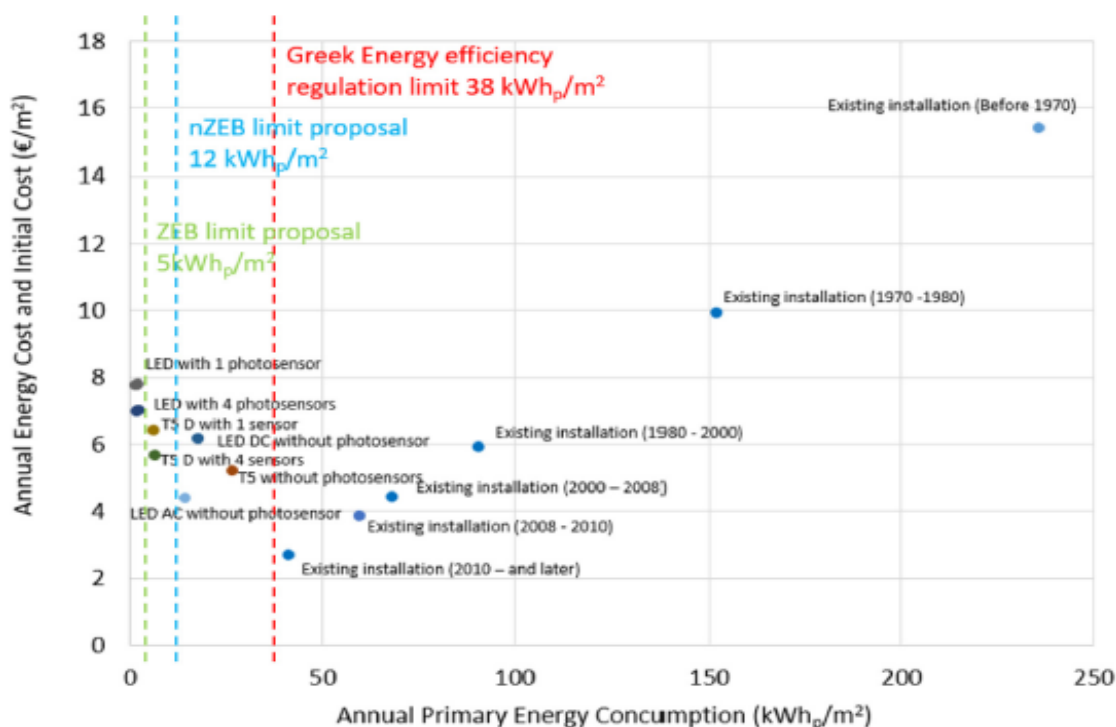
Όπως φαίνεται παραπάνω, οι κοινόχρηστοι χώροι και οι τουαλέτες χρησιμοποιούνται περισσότερο, με ποσοστό 37.14%. Έπειτα ακολουθούν οι σχολικές αίθουσες διδασκαλίας με 21.36% και τα εστιατόρια με ποσοστό κοντά στο 14%. Οι υπόλοιποι χώροι χρησιμοποιούνται με ποσοστά λιγότερα από 10% του συνόλου ο καθένας.

Οι σχολικές αίθουσες διδασκαλίας είναι οι χώροι, στους οποίους καταναλώνεται το 50% της συνολικής ενέργειας ενός σχολικού κτιρίου, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους χώρους, όπως η κουζίνα, το γυμναστήριο, η βιβλιοθήκη, το αίθριο, η καφετέρια, τα γραφεία διοίκησης και τα εργαστήρια.

Όλα τα σχολεία στην Ελλάδα θα πρέπει να συμμορφώνονται στις απαιτήσεις του προτύπου EN 12464-1, οι προδιαγραφές του οποίου θα αναλυθούν στην παράγραφο 3.4. Μία μέση ελληνική τάξη έχει διαστάσεις 7.2 m x 7.2 m x 3.2 m. Παρόλο που η έκταση της κάθε τάξης είναι μικρή συγκριτικά με τη συνολική έκταση του σχολικού κτιρίου, καλύπτοντας κατά μέσο όρο το 21.36%, η ωριαία χρήση της ημέρας από τους μαθητές είναι αρκετά μεγάλη και κυμαίνεται από 62.8% σε νηπιαγωγεία έως και 94.8% σε γυμνάσια και λύκεια, καθιστώντας την αίθουσα διδασκαλίας ως τον πλέον ενεργοβόρο χώρο. Δεδομένου ότι τα περισσότερα σχολικά κτίρια έχουν κατασκευαστεί μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 90, εκτιμάται ότι περίπου 120000 αίθουσες

χρειάζονται ενεργειακή αναβάθμιση, λόγω πεπαλαιωμένων συστημάτων φωτισμού που εφαρμόζονται.

Το επιθυμητό όριο για την ετήσια πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση για το σύνολο 143144 σχολικών κτιρίων που μελετήθηκαν στην Ελλάδα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη αποδοτικότητα είναι 38 kWh/m<sup>2</sup>. Προκειμένου να επιτευχθούν οι συνθήκες ενός κτιρίου με σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση (nZEB) το όριο αυτό ανέρχεται στις 12 kWh/m<sup>2</sup>, ενώ για συνθήκες βέλτιστης ενεργειακής απόδοσης, στην περίπτωση των κτιρίων με μηδενική κατανάλωση (ZEB), το όριο μειώνεται στις 5 kWh/m<sup>2</sup>. Τα ελληνικά σχολεία που μελετήθηκαν περιλαμβάνουν κτίρια που οικοδομήθηκαν πριν το 1970 αλλά και κτίρια που είναι τελευταίας τεχνολογίας, κτισμένα μετά το 2010. Το διάγραμμα στην εικόνα 3.2 απεικονίζει την μεταβολή της ετήσιας κατανάλωσης σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος που απαιτείται. Η μεταβολή ανά δεκαετία μειώνεται σχεδόν γραμμικά. Η τιμή που παρατηρείται για την υπάρχουσα εγκατάσταση των σχολικών κτιρίων που ανεγέρθηκαν πριν το 1970 αντιστοιχεί σε περίπου 235 kWh/m<sup>2</sup> με κόστος 15.5 €/m<sup>2</sup>. Για όσα ανεγέρθηκαν μετά το 2010 η τιμή αντιστοιχεί σε περίπου 40 kWh/m<sup>2</sup> με κόστος 2.5 €/m<sup>2</sup>. Ακόμα και στην περίπτωση αυτή δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις για τον ελληνικό χώρο που προαναφέρθηκαν, υπερβαίνοντας την τιμή των 38 kWh/m<sup>2</sup>. Τέλος, στην εικόνα 3.2 παρουσιάζονται και οι τιμές που θα προέκυπταν μετά από παρέμβαση στα σχολικά κτίρια με συγκεκριμένες λύσεις, όπως αυτές μετρήθηκαν από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τον αριθμό των προαναφερθέντων ελληνικών σχολικών κτιρίων [2].



**Εικόνα 3.2 Μεταβολή της ετήσιας πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης των σχολικών κτιρίων στην Ελλάδα σε σχέση με το αντίστοιχο απαιτούμενο κόστος και αποτελέσματα προτεινόμενων παρεμβάσεων [2]**

Οι λύσεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση είναι αρκετές. Όπως προκύπτει από το προηγούμενο διάγραμμα, η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων φθορισμού με καινούργιους LED τεχνολογίας, θα συνέβαλε αυτόματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κάτω από το επιθυμητό όριο αποδοτικότητας των 38 kWh/m<sup>2</sup>. Προκειμένου όμως να μπορέσουν να θεωρηθούν τα σχολεία ως κτίρια ZEB ή nZEB θα πρέπει να εφαρμοστούν συνδυαστικά συστήματα ελέγχου φωτισμού και αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού κατά τη λειτουργία των σχολείων, η οποία διαδραματίζεται κυρίως τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες. Η προσθήκη ενός ή περισσότερων αισθητήρων ανά αίθουσα, θα μείωνε σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση και παρά τη σχετική αύξηση του κόστους που θα επέφερε, θα μεγιστοποιούσε τα ενεργειακά οφέλη [2].

Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντικές θα ήταν και οι αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις στις αίθουσες για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Μία αποδοτική λύση για τις σχολικές αίθουσες αποτελεί η εφαρμογή ραφιών φωτισμού. Συγκριτικά με τη χρήση κουρτινών, που επιλέγεται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων των σχολείων στην Ελλάδα, η χρήση των ραφιών φωτισμού και ανακλαστικών εξωτερικών περσίδων, θα μπορούσε να οδηγήσει στον διπλασιασμό του daylight factor πλησίον στα παράθυρα και στον τετραπλασιασμό του σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Επίσης συμβάλλει θετικά στα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου [30].

### 3.4 Φωτισμός αιθουσών και χώρων σε εκπαιδευτικά ιδρύματα

#### 3.4.1 Πρότυπο φωτισμού EN 12464-1

Οι διάφοροι χώροι και αίθουσες, όπου περνούν οι μαθητές το χρόνο τους ευρισκόμενοι καθημερινά μέσα σε εκπαιδευτικά ιδρύματα, πρέπει να τηρούν κάποιες προδιαγραφές ως προς το φωτισμό που επιλέγεται. Το ίδιο ισχύει και για συγκεκριμένες επιφάνειες που χρησιμοποιούνται στους χώρους αυτούς, όπως πχ. ο πίνακας. Τα μεγέθη τα οποία πρέπει να ελέγχονται, ώστε να είναι σωστός και αποδεκτός ο φωτισμός είναι η μέση ένταση φωτισμού (Em), η ομοιομορφία του φωτισμού (Uo), ο δείκτης χρωματικής απόδοσης του φωτός (Ra) και επίσης ο δείκτης θάμβωσης (UGR). Για τα πρώτα τρία θα πρέπει να υπάρχει ένα ελάχιστο όριο, ενώ για το UGR υπάρχει μέγιστο όριο. Αναλυτικές τιμές για τα όρια που θα πρέπει να εφαρμόζονται ανάλογα με τον κάθε τύπο αίθουσας, χώρου ή επιφάνειας ορίζονται με βάση το πρότυπο EN 12464-1 [26] και καταγράφονται στον πίνακα 3.1 ως εξής:



**Πίνακας 3.1 Τιμές που ορίζει το πρότυπο EN 12464-1 για χώρους εκπαίδευσης [26]**

Τύπος αίθουσας, δραστηριότητας ή επιφάνειας		Em (lux)	Uo	UGR	Ra
5.35	<b>ΝΗΠΙΑΓΩΓΕΙΟ, ΠΑΙΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ</b>				
5.35.1	Χώρος παιχνιδιού	300	0.40	22	80
5.35.2	Βρεφικός σταθμός	300	0.40	22	80
5.35.3	Δωμάτιο χειροτεχνίας	300	0.60	19	80
5.36	<b>ΚΤΙΡΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ</b>				
5.36.1	Αίθουσες διδασκαλίας, αίθουσες φροντιστηρίου	300	0.60	19	80
5.36.2	Αίθουσες διδασκαλίας για απογευματινά μαθήματα και για ενήλικες	500	0.60	19	80
5.36.3	Αμφιθέατρα, αίθουσες διαλέξεων	500	0.60	19	80
5.36.4	Μαύροι, πράσινοι και λευκοί πίνακες	500	0.70	19	80
5.36.5	Πάγκος επίδειξης	500	0.70	19	80
5.36.6	Αίθουσα καλλιτεχνικών	500	0.60	19	80
5.36.7	Αίθουσα καλλιτεχνικών σε σχολές καλών τεχνών	750	0.70	19	80
5.36.8	Αίθουσες τεχνικού σχεδίου	750	0.70	16	80
5.36.9	Εργαστήρια φυσικής και χημείας	500	0.60	19	80
5.36.10	Δωμάτιο χειροτεχνίας	500	0.60	19	80
5.36.11	Εργαστήριο διδασκαλίας	500	0.60	19	80
5.36.12	Στούντιο μουσικής	300	0.60	19	80
5.36.13	Αίθουσες ηλεκτρονικών υπολογιστών	300	0.60	19	80
5.36.14	Εργαστήριο ξένων γλωσσών	300	0.60	19	80
5.36.15	Αίθουσες προετοιμασίας	500	0.60	22	80
5.36.16	Χώρος εισόδου	200	0.40	22	80
5.36.17	Χώροι κυκλοφορίας	100	0.40	25	80
5.36.18	Κλίμακες	150	0.40	25	80
5.36.19	Χώροι συνάθροισης μαθητών και αίθουσα συνελεύσεων	200	0.40	22	80
5.36.20	Γραφεία καθηγητών	300	0.60	19	80
5.36.21	Βιβλιοθήκη: Χώρος βιβλίων	200	0.60	19	80
5.36.22	Βιβλιοθήκη: Αναγνωστήριο	500	0.60	19	80
5.36.23	Αποθήκη αντικειμένων διδασκαλίας	100	0.40	25	80
5.36.24	Γυμναστήρια, πισίνες	300	0.60	22	80
5.36.25	Κυλικείο	200	0.40	22	80
5.36.26	Κουζίνα	500	0.60	22	80

(Σε περιπτώσεις πάγκου επίδειξης στα αμφιθέατρα και στις αίθουσες διαλέξεων ισχύει  $E_m=750\text{lux}$ ).

Για τις διάφορες περιπτώσεις που περιλαμβάνονται στον προηγούμενο πίνακα υπάρχουν συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού που πρέπει να διαμορφώνονται, έτσι ώστε να μπορεί ο μαθητής στον εκάστοτε χώρο του εκπαιδευτικού ιδρύματος να μαθαίνει αποτελεσματικά, μέσα σε μία ευχάριστη και δημιουργική ατμόσφαιρα. Ακολούθως αναλύονται οι συνθήκες αυτές για κάθε χώρο ξεχωριστά [14].

### *3.4.2 Φωτισμός στο νηπιαγωγείο και στην προσχολική αγωγή*

Τα νηπιαγωγεία αποτελούν ένα πολύ σημαντικό μέρος στη διαμόρφωση της προσωπικότητας και στην ανάπτυξη ενός παιδιού. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να λαμβάνεται η κατάλληλη μέριμνα για την εξασφάλιση του καλύτερου δυνατού φωτισμού. Τα παιδιά χρειάζονται χώρο στην ηλικία αυτή να κινούνται, να παίζουν και να εξερευνούν το περιβάλλον τους. Στο φωτισμός του χώρου που βρίσκονται θα πρέπει να αξιοποιείται και ο άμεσος και ο έμμεσος με κατάλληλο συνδυασμό, ώστε να δημιουργείται η κατάλληλη ατμόσφαιρα και ένα θετικό περιβάλλον για να μπορέσει το παιδί να μάθει το χώρο γύρω του και να αναπτυχθεί παράλληλα. Σημαντική είναι λοιπόν η χρησιμοποίηση διαφόρων συστημάτων ελέγχου φωτισμού και η αξιοποίηση του φυσικού φωτός της ημέρας, ώστε να αξιοποιούνται κατάλληλα ανάλογα με την κάθε δραστηριότητα.

Μέσα στο χώρο που κινείται το παιδί θα πρέπει να μπορεί να διακρίνει καθαρά και να μετρά τις αποστάσεις και προσαρμόζεται. Ο φωτισμός θα πρέπει να είναι ομοιόμορφος και να χαρακτηρίζεται από υψηλό δείκτη χρωματικής απόδοσης, έτσι ώστε τα νήπια να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν και να ταξινομούν αντικείμενα.

Γενικότερα τα νήπια στους χώρους προσχολικής αγωγής θα πρέπει να αντιμετωπίζονται όπως οι μαθητές στα σχολεία όσον αφορά τις προδιαγραφές για το φωτισμό των χώρων, ώστε να μπορούν να ετοιμάζονται καταλλήλως για τη βασική τους εκπαίδευση μετέπειτα [14].

### *3.4.3 Φωτισμός σχολικής αίθουσας*

Η σύγχρονη εκπαίδευση βασίζεται στην ενθάρρυνση και στην πρόκληση. Ο φωτισμός αποτελεί βασικό παράγοντα για επίτευξη συγκέντρωσης και δημιουργικής εργασίας χωρίς κούραση και είναι απαραίτητος για να αυξήσει την προσοχή των μαθητών και να τους βοηθήσει στη διαδικασία της μάθησης.

Η δια βίου μάθηση ακολουθεί τον άνθρωπο σε όλη του της ζωή. Θέτει τα θεμέλια πάνω στα οποία αντιμετωπίζονται οι συνεχώς αυξανόμενες προκλήσεις στη ζωή, είτε αυτές έχουν να κάνουν με την παιδική ηλικία και τη διαμόρφωση του χαρακτήρα και της προσωπικότητας είτε με την επαγγελματική ζωή μετέπειτα. Όποιος απολαμβάνει τη μάθηση μαθαίνει και πιο εύκολα και αποτελεσματικά, από μικρό παιδί μέχρι τα γηρατειά. Στα περισσότερα σχολεία αποφεύγεται πλέον η κλασική λογική των γραφείων και επιδιώκονται νέες μορφές επικοινωνίας. Σκοπός είναι να βρίσκονται ευέλικτες λύσεις ώστε να επιτρέπεται η άμεση διδασκαλία και όταν για παράδειγμα οι μαθητές παρουσιάζουν κάποιες εργασίες, να γίνεται η αίθουσα ένας χώρος συνεδριάσεων και ανταλλαγής απόψεων. Οι μορφές αυτές διδασκαλίας απαιτούν και ευέλικτο φωτισμό, ώστε να μπορούν να αποτυπωθούν οπτικά όσα παρουσιάζονται. Για να είναι επαρκής ο φωτισμός σε μία σχολική αίθουσα θα πρέπει να δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες για όλους όσους βρίσκονται στο χώρο ανεξάρτητα τη θέση τους και την οργάνωση των θρανίων ή των καρεκλών. Όλοι οι τοίχοι θα πρέπει να φωτίζονται επαρκώς, ενώ για να αποφεύγεται οπτική όχληση απαιτείται υψηλή ομοιομορφία. Θα πρέπει να αξιοποιείται ο φυσικός φωτισμός, ενώ ο τεχνητός θα πρέπει να μπορεί να ρυθμίζεται μέσω διαφόρων συστημάτων ελέγχου, ώστε να εξοικονομείται

ενέργεια. Ένα σύνθηδες παράδειγμα αποτελούν οι αισθητήρες φωτισμού. Όταν ανιχνεύεται υψηλή στάθμη φυσικού φωτισμού, τότε τα φωτιστικά που είναι πλησιέστερα στα παράθυρα είτε απενεργοποιούνται είτε ρυθμίζονται ώστε να εκπέμπουν χαμηλότερα επίπεδα φωτισμού. Έτσι, εξοικονομείται ηλεκτρική ενέργεια και εξασφαλίζεται επαρκής φωτισμός για τους μαθητές. Επίσης, για να αποφεύγεται η θάμβωση, ανάλογα με τη θέση του ηλίου είναι απαραίτητες κουρτίνες και περσίδες. Στην επιφάνεια του πίνακα πρέπει να υπάρχουν ξεχωριστά ρυθμιζόμενα φωτιστικά για να αποτρέπουν την αντανάκλαση. Σε ντουλάπια και ράφια θα πρέπει να παρέχεται έντονο φως για να είναι ευδιάκριτο ότι αποθηκεύει ή ψάχνει να βρει κάποιος σε αυτά. Όσον αφορά τις κάθετες επιφάνειες, αυτές πρέπει να φωτίζονται ομοιόμορφα και επαρκώς για να μην προκαλούν κόπωση στα μάτια και να επιτρέπουν την προσαρμογή στις διαφορές στη φωτεινότητα. Η ομοιομορφία στους πίνακες θα πρέπει να έχει την τιμή 0.7, ο δείκτης απόδοσης χρώματος (CRI) να έχει τιμή τουλάχιστον 80, ενώ η μέση ένταση φωτισμού για κάθετες επιφάνειες παρουσίασης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον στα 500 lux. Στις περιπτώσεις που υπάρχουν ασπροπίνακες απαιτείται συγκεκριμένη θωράκιση και προσοχή, διότι αυτοί απαιτούν λιγότερο φως και δημιουργούν ευκολότερα αντανάκλαση. Χάρτες ή πίνακες παρουσιάσεων δίπλα από τον πίνακα θα πρέπει να φωτίζονται ομοιόμορφα από φωτιστικά τοίχου [14, 20, 26].

### 3.4.4 Φωτισμός αίθουσας υπολογιστών

Σε όλη τη διάρκεια της δια βίου μάθησης είναι απαραίτητη η χρήση των υπολογιστών και των διαφόρων μέσων ενημέρωσης. Οι απαιτήσεις αυξάνονται και παράλληλα πρέπει να βελτιώνονται και οι δεξιότητες και οι γνώσεις της πληροφορικής. Η σύγχρονη εκπαίδευση συνδέεται με την ανάγκη για ευελιξία και συνεχή επικοινωνία στην τάξη. Οι εργασίες και οι διάφορες έρευνες πλέον γίνονται συνήθως σε υπολογιστή.

Για να μπορέσει να εφαρμοστεί η σύγχρονη εκπαίδευση μέσω υπολογιστή, θα πρέπει να υπάρχει και ο κατάλληλος φωτισμός. Η ορατότητα στην οθόνη θα πρέπει να είναι καλή και να μην υπάρχει θάμβωση. Προκειμένου να υπάρχει ισορροπημένη ατμόσφαιρα χρειάζεται να εφαρμόζεται και έμμεσος φωτισμός, ώστε να μην προκαλείται οπτική όχληση από τις αντιθέσεις του περιβάλλοντος της εργασίας. Μεγάλη επιρροή έχει και το άμεσο φως της ημέρας, καθώς δημιουργεί ανακλάσεις στην οθόνη συχνά, οι οποίες θα πρέπει να αποφεύγονται με την κατάλληλη ηλιοπροστασία ή σκίαθρα στα παράθυρα [14].

Γενικότερα, θα πρέπει να εφαρμοστεί ένα σύστημα ελέγχου φωτισμού στις αίθουσες εκπαίδευσης, ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται το φως στις ανάγκες της κάθε εργασίας και μεθόδου διδασκαλίας που εξαρτώνται από τη χρήση των υπολογιστών.

Όσον αφορά τα επιτρεπόμενα όρια για την τιμή της μέγιστης λαμπρότητας, που αποδίδουν τα φωτιστικά στους διάφορους τύπους οθονών υπολογιστών και μπορεί να ανακλαστεί σε επίπεδες οθόνες, αυτά ορίζονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464-1. Η κατηγοριοποίηση γίνεται με κριτήριο τη λαμπρότητα των οθονών, οι οποίες διακρίνονται σε οθόνες υψηλής λαμπρότητας, στις οποίες η τιμή της είναι μεγαλύτερη από 200 cd/m<sup>2</sup>, και μέτριας λαμπρότητας, στις οποίες η τιμή της είναι μικρότερη ή ίση των 200 cd/m<sup>2</sup>. Εκτός όμως από την τιμή που λαμβάνει η λαμπρότητα, διάκριση γίνεται

και με βάση την πολικότητα της οθόνης, καθώς και των απαιτήσεων που απαιτούνται για την εμφάνιση των χρωμάτων στην οθόνη. Οι δύο τύποι πολικότητας, θετική και αρνητική, απεικονίζονται στην εικόνα 3.3



Εικόνα 3.3 α) Θετική πολικότητα β) Αρνητική πολικότητα [58]

Στην πρώτη περίπτωση (Α) της προαναφερθείσας διάκρισης, ανήκουν οι οθόνες, στις οποίες υπάρχει θετική πολικότητα και σύνηθεις απαιτήσεις, όσον αφορά το χρώμα και τις λεπτομέρειες των πληροφοριών που προβάλλονται, όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούνται σε γραφεία ή για εκπαίδευση. Στη δεύτερη περίπτωση (Β) ανήκουν οι οθόνες, στις οποίες υπάρχει αρνητική πολικότητα και υψηλές απαιτήσεις, όσον αφορά το χρώμα και τις λεπτομέρειες των πληροφοριών που προβάλλονται, όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για σκοπούς σχεδίασης [58]. Αναλυτικά, τα επιθυμητά όρια σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464-1, παρατίθενται στον πίνακα 3.2:

Πίνακας 3.2 Όρια λαμπρότητας φωτιστικών με βάση τη λαμπρότητα και την κατάσταση των οθονών [58]

Κατάσταση οθόνης	Υψηλή τιμή λαμπρότητας	Μέτρια τιμή λαμπρότητας
Περίπτωση Α	$\leq 3000 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$
Περίπτωση Β	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$

### 3.4.5 Φωτισμός αίθουσας τέχνης και μουσικής

Οι τέχνες και η μουσική αποτελούν πολύ σημαντικό κομμάτι σε ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον. Ελάχιστη ένταση φωτισμού που επιλέγεται στις αίθουσες αυτές είναι τα 500 lux, αλλά συνήθως επιλέγονται τα 750 lux για συμμόρφωση με το διεθνές πρότυπο EN 12464-1. Όπως σε κάθε αίθουσα, απαιτείται εξάλειψη της θάμβωσης και γενικότερα επιλέγεται UGR μικρότερο ή ίσο του 19. Ο περιορισμός της λαμπρότητας από εξωτερικούς παράγοντες χρειάζεται για να αποφεύγονται ανακλάσεις σε λαμπερές επιφάνειες. Επειδή στις διάφορες τέχνες τα χρώματα θα πρέπει να είναι ευδιάκριτα, χρησιμοποιούνται λάμπες με εξαιρετική απόδοση χρωμάτων. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 80, ενώ ενδείκνυται ως τιμή 90. Σε περιπτώσεις που πρόκειται για μία αίθουσα καλλιτεχνικών που ανήκει σε σχολή καλών τεχνών η θερμοκρασία του χρώματος του φωτός που επιλέγεται θα πρέπει να είναι υποχρεωτικά μεγαλύτερη από 5000 K και μικρότερη από 6500 K.

Στις μουσικές αίθουσες ο φωτισμός πρέπει να επιτρέπει στους μαθητές να αντιλαμβάνονται καθαρά τις σημειώσεις και τα όργανα χωρίς ανακλάσεις και σκιάσεις, ενώ το φως θα πρέπει να διαχέεται ομοιόμορφα σε όλα τα σημεία της αίθουσας. Ο λόγος είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιείται από μία χορωδία και να υπάρχουν διάφοροι τύποι μουσικών οργάνων, τα οποία πρέπει να φωτίζονται κατάλληλα. Τέλος, στις

περιπτώσεις που υπάρχουν γυάλινα φωτιστικά, θα πρέπει να είναι τέτοια η κατασκευή τους, έτσι ώστε να μην προκαλούν ακουστικές παρεμβολές [14].

### *3.4.6 Φωτισμός εργαστηρίων*

Η γνώση στηρίζεται σε σημαντικό βαθμό στην παρατήρηση και στη διεξαγωγή πειραμάτων. Πολλά πανεπιστήμια δίνουν βάση στον τομέα της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας και διεξάγουν πειράματα στα εργαστήριά τους. Δημιουργείται μία διαδραστική σχέση ανάμεσα σε καθηγητή και μαθητές και η διδασκαλία γίνεται πιο άμεση και αποδοτική.

Προκειμένου να υπάρχει ασφάλεια στα διάφορα πειράματα θα πρέπει να εφαρμόζεται ο κατάλληλος φωτισμός στις αίθουσες των εργαστηρίων όπου διεξάγονται, ώστε ακόμα και τα πιο μικρά αντικείμενα να είναι ευδιάκριτα. Η ελάχιστη απαίτηση για την ένταση φωτισμού στο χώρο των εργαστηρίων είναι τα 500 lux, τιμή η οποία μπορεί να αυξηθεί ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις των πειραμάτων. Επιδίωξη είναι να αποφεύγονται οι σκιάσεις και οι ανακλάσεις στα έδρανα και σε γυάλινες επιφάνειες, προκειμένου να μπορεί με ασφάλεια να χρησιμοποιηθεί ο εξοπλισμός. Σε ιδιαίτερες περιπτώσεις πειραμάτων με εύφλεκτα υλικά ή επικίνδυνα χημικά επιλέγονται φωτιστικά τα οποία προστατεύονται και δεν επηρεάζονται από πιθανές εκρήξεις.

Όσον αφορά τη χρωματική απόδοση του φωτός θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλή. Αυτό συμβαίνει διότι στα πειράματα απαιτείται λεπτομερής παρατήρηση των χημικών στοιχείων ως προς τις μικρές χρωματικές διαφορές που θα προκληθούν σε αυτά κατά τη διεξαγωγή ή στο διαχωρισμό τους από άλλα αντίστοιχα στοιχεία. Μία ενδεδειγμένη επιλογή είναι οι λαμπτήρες φθορισμού που παρέχουν λευκό ουδέτερο φως με δείκτη χρωματικής απόδοσης 90.

Επειδή και στο εργαστήριο χρησιμοποιούνται συσκευές προβολής, θα πρέπει τα φωτιστικά να έχουν δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής τους στάθμης και επιλέγεται με το πάτημα ενός κουμπιού να αποδίδουν λιγότερο φως όταν γίνεται κάποια παρουσίαση ή όταν η τα πειράματα που διεξάγονται το απαιτούν [14].

### *3.4.7 Φωτισμός αιθουσών διδασκαλίας ενηλίκων*

Η εκπαίδευση για τους ενήλικες πραγματοποιείται συνήθως σε ώρες που δεν υπάρχει επαρκής φυσικός φωτισμός. Θα πρέπει να παρέχεται ο κατάλληλος φωτισμός για τις περιπτώσεις που επικρατεί απουσία φυσικού φωτός, το οποίο όμως θα πρέπει να αξιοποιείται πλήρως ως κύρια πηγή φωτός μέσα στη μέρα για όλη την αίθουσα. Με βάση το πρότυπο EN 12464-1, απαιτούνται τουλάχιστον 500 lux όσον αφορά την ένταση φωτισμού στο επίπεδο των εδράνων, ενώ θα πρέπει να φωτίζονται επαρκώς και οι κάθετες επιφάνειες (π.χ. πίνακες, συσκευές προβολής) για να μπορούν όσα αναγράφονται σε αυτές να είναι ορατά από τα άτομα σε όλα τα σημεία της αίθουσας.

Η χρησιμοποίηση των αιθουσών αυτών σε βραδινές ώρες, καθιστά απαραίτητη τη ρύθμιση του φωτισμού, ώστε να παρέχεται το κατάλληλο φως ανάλογα με την ώρα. Αυτό επιδρά θετικά στους βιολογικούς ρυθμούς των μαθητών και τους βοηθά να αφομοιώνουν ευκολότερα τη γνώση. Έτσι στην αρχή του μαθήματος αξιοποιείται το λευκό έντονο φως για να ενεργοποιεί τους μαθητές και να τους κρατά σε επαγρύπνηση, αυξάνοντας και την συγκέντρωσή τους. Για να μην έρθει σε σύγκρουση με τη φυσιολογική εξέλιξη του βιολογικού ρυθμού του οργανισμού κατά τη διάρκεια της

μέρας, χρειάζεται να ρυθμιστεί ο φωτισμός σε θερμότερη απόχρωση 30 με 45 λεπτά πριν τη λήξη του μαθήματος, ώστε να προετοιμάσει τους μαθητές για τον ύπνο και τη μετάβαση σε λειτουργία ανάπαυσης μετέπειτα [14].

### 3.4.8 Φωτισμός αίθουσας διαλέξεων – αμφιθεάτρων

Οι συγκεκριμένες αίθουσες χαρακτηρίζονται από ένα προκαθορισμένο αριθμό θέσεων, οι οποίες είναι στραμμένες προς μία σκηνή. Δεν υπάρχουν παράθυρα, άρα απουσιάζει ο φυσικός φωτισμός και αξιοποιείται πλήρως ο τεχνητός. Ολόκληρος ο χώρος της σκηνής όπου γίνονται οι παρουσιάσεις θα πρέπει να φωτίζεται επαρκώς με τουλάχιστον 750 lux έντασης φωτισμού στις οριζόντιες επιφάνειες (για την υπόλοιπη αίθουσα απαιτούνται τουλάχιστον 500 lux) και να μην προκαλούνται ανακλάσεις ή θάμβωση από τον πίνακα. Για αυτό το λόγο είναι συνήθως χρήσιμα και φωτιστικά στο κάθετο επίπεδο των τοίχων.

Ο έλεγχος και η προσαρμογή του φωτισμού σε ένα αμφιθέατρο διασφαλίζεται πλήρως με την εφαρμογή συστημάτων ελέγχου φωτισμού, στα οποία το άτομο που βρίσκεται στη σκηνή με το πάτημα ενός κουμπιού θα έχει πρόσβαση και θα αυξομειώνει το επίπεδο της έντασης φωτισμού που θα παρέχεται την εκάστοτε στιγμή στα διάφορα σημεία του χώρου, ανάλογα με την περίπτωση (πχ. διδασκαλία, προβολή, παρουσίαση). Προκειμένου να εξασφαλίζεται η ασφάλεια σε ένα αμφιθέατρο θα πρέπει να διασφαλίζεται η εύκολη είσοδος και έξοδος στην αίθουσα. Χωνευτά φωτιστικά στους τοίχους ή στο πάτωμα θα πρέπει να παραμένουν διαρκώς αναμμένα. Στην αρχή ή το τέλος ενός γεγονότος θα πρέπει να αυξάνεται η ένταση του φωτισμού για εύκολη πρόσβαση στις θέσεις ή έλεγχο για το αν έχει αφήσει κανείς κάτι πίσω πριν αποχωρήσει. Πέρα από όλα αυτά όμως απαραίτητη είναι η ύπαρξη φωτισμού έκτακτης ανάγκης και κατάλληλη ένδειξη πάνω από τις πιθανές εξόδους.

Υπάρχουν τρεις τύποι αμφιθεάτρων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά που χρησιμοποιούνται για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο ή από ένα συγκεκριμένο τμήμα ενός εκπαιδευτικού ιδρύματος, όπως το τμήμα φυσικής. Άλλα αμφιθέατρα αξιοποιούνται με μεγάλη συχνότητα για διάφορες εκδηλώσεις σε ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα, ενώ υπάρχουν και αυτά που προορίζονται για περιορισμένη χρήση από ινστιτούτα ερευνών, μουσεία, επαγγελματικά ιδρύματα κτλ. [14, 64].

### 3.4.9 Φωτισμός βιβλιοθήκης

Η βιβλιοθήκη αποτελεί το μέρος στο οποίο οι μαθητές δύνανται από μόνοι τους να εμπλουτίζουν τις γνώσεις τους μέσα από μελέτη. Στο χώρο αυτό υπάρχει πληθώρα βιβλίων και παρέχεται η δυνατότητα για έρευνα μέσω διαδικτύου και ολοκλήρωση εργασιών μέσω υπολογιστών που βρίσκονται εκεί. Προκειμένου λοιπόν οι μαθητές να έχουν την απαραίτητη συγκέντρωση και διάθεση για να αξιοποιήσουν δημιουργικά και επιτυχημένα το χρόνο τους στη βιβλιοθήκη, χρειάζεται ο φωτισμός που επικρατεί να δημιουργεί μία φιλική και ευχάριστη ατμόσφαιρα που θα κάνει τον επισκέπτη να παραμείνει στο χώρο για αρκετές ώρες χωρίς να τον κουράσει.

Τόσο ο φυσικός φωτισμός όσο και ο τεχνητός χρειάζεται να εξασφαλίζουν ομοιόμορφη ένταση φωτισμού στο χώρο της βιβλιοθήκης και διευκολύνουν τη συγκέντρωση των μαθητών. Η θάμβωση και οι ανακλάσεις πρέπει να αποφεύγονται είτε στα έδρανα είτε στους υπολογιστές, ενώ πάνω από τα γραφεία υπάρχουν ξεχωριστά φωτιστικά που αυξάνουν την ένταση του φωτισμού στην επιφάνεια του διαβάσματος. Οι χώροι όπου

υπάρχουν υπολογιστές θα πρέπει να εναρμονίζονται με το κατάλληλο επίπεδο φωτισμού στα 500 lux, ώστε να μην προκαλείται κόπωση στο μάτι έπειτα από αρκετό χρόνο στην οθόνη. Οι διάδρομοι απαιτείται να είναι φωτισμένοι πλήρως για να κατευθύνουν τους μαθητές στο χώρο ή προς την έξοδο σε περιπτώσεις ανάγκης. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ο φωτισμός να διευκολύνει τον καθένα να μπορεί να κινηθεί σε στενούς διαδρόμους ανάμεσα στα ράφια της βιβλιοθήκης. Η κάθετη ένταση φωτισμού στα ράφια θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 200 lux και ομοιόμορφη, ώστε να μπορούν να διακρίνονται οι τίτλοι των βιβλίων και η χρωματική απόδοση του φωτός να είναι τουλάχιστον 80. Τέλος, επειδή τα παλιά βιβλία είναι ευαίσθητα από τη μακροχρόνια έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία χρησιμοποιούνται μόνο σύγχρονα LED φωτιστικά, τα οποία δεν εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία.

Η καλύτερη διαχείριση του φωτισμού στις βιβλιοθήκες εξασφαλίζεται με σύγχρονα συστήματα ελέγχου φωτισμού που εξασφαλίζουν εξοικονόμηση ενέργειας, μέσω σωστής αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού και του κατάλληλου συνδυασμού του με τον τεχνητό φωτισμό του χώρου [14].

### *3.4.10 Φωτισμός εντευκτηρίου-αίθουσας εκθεμάτων*

Η αίθουσα στην οποία συναντώνται μαθητές, καθηγητές και επισκέπτες βραβεύσεις ή παρουσιάσεις διαφόρων εκθεμάτων απαιτεί ευέλικτο και εύκολα ρυθμιζόμενο φωτισμό. Μέσω κατάλληλου συστήματος φωτισμού επιλέγεται ο αντίστοιχος φωτισμός που χρειάζεται το εκάστοτε γεγονός που διαδραματίζεται στην αίθουσα και δημιουργεί μία ευχάριστη ατμόσφαιρα. Στην περιοχή της σκηνής δεν πρέπει να υπάρχουν θαμβώσεις και ανακλάσεις, ώστε οι ηθοποιοί και οι ομιλητές να μπορούν να διαβάζουν εύκολα και να βλέπουν καθαρά το κοινό. Επειδή σε διάφορα γεγονότα που διαδραματίζονται στην αίθουσα αυτή απαιτείται αυξομείωση της έντασης φωτισμού, όπως πχ. στις θεατρικές εκδηλώσεις όπου επικρατεί συχνά χαμηλός φωτισμός, συνίσταται η χρήση εξελεγμένων συστημάτων ελέγχου φωτισμού, με τα οποία θα μπορεί και να αξιοποιηθεί και ο φυσικός φωτισμός όπου το επιτρέπει η περίπτωση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται εξοικονόμηση ενεργειακής κατανάλωσης. Στις περιπτώσεις των εκθεμάτων, καταλυτικό ρόλο παίζει η ομοιομορφία της κατακόρυφης έντασης φωτισμού, ώστε να προσελκύουν το ενδιαφέρον των επισκεπτών. Για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπου το σύστημα φωτισμού τίθεται αιφνιδίως εκτός λειτουργίας πρέπει να υπάρχουν φωτιστικά ασφαλείας ώστε να κατευθύνουν το κοινό προς τις εξόδους [14].

### *3.4.11 Φωτισμός καφετέριας, τραπεζαρίας και κουζίνας*

Στις καφετέριες και τις τραπεζαρίες των σχολικών κτιρίων οι μαθητές ξεκουράζονται κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων, ώστε να ανταπεξέλθουν στις δυσκολίες του καθημερινού προγράμματος. Τέτοιοι χώροι, για να εξυπηρετούν τους παραπάνω σκοπούς, θα πρέπει να έχουν πολύ έντονο φωτισμό για να δημιουργούν ένα κλίμα ευφορίας. Τους συναντά κανείς συνήθως σε σημεία που έχουν άμεση επαφή με το φυσικό φωτισμό, ο οποίος διάχυτος επιδρά θετικά στη διάθεση των μαθητών, με υποβοήθηση όπου απαιτείται και από τον τεχνητό φωτισμό. Αυτό εξυπηρετείται από συστήματα ελέγχου φωτισμού, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πάντα εξοικονόμηση ενέργειας μέσω κατάλληλου συνδυασμού των δύο. Επιπλέον ο συνδυασμός αυτός εξαλείφει τις πιθανές σκιάσεις που δημιουργούνται και επιτρέπει στους συνομιλητές

να διακρίνουν καθαρά τις εκφράσεις, τις χειρονομίες και το πρόσωπο του άλλου, ώστε να προάγεται η επιθυμητή επικοινωνία που επιζητούν οι μαθητές στο μικρό διάστημα που αφιερώνουν για να ξεκουραστούν και να ξεχαστούν, ευρισκόμενοι στην καφετέρια, την τραπεζαρία ή την κουζίνα.

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464-1 απαιτούνται τουλάχιστον 500 lux έντασης φωτισμού σε κουζίνες και 200 lux σε τραπεζαρίες. Επιλέγονται γενικότερα χωνευτά φωτιστικά οροφής στις τραπεζαρίες, ενώ πάνω από τα τραπέζια τοποθετούνται αναρτώμενα από την οροφή φωτιστικά λίγο πάνω από το επίπεδο του ματιού. Αυτά θα πρέπει να έχουν επιθυμητή απόσταση του κάτω μέρους τους 60 cm περίπου από το τραπέζι. Αυτό είναι το κατάλληλο ύψος, ώστε να αποφεύγεται η θάμβωση και να επιτρέπεται σε όποιον κάθεται στο τραπέζι να βλέπει και να αλληλοεπιδράει ανεμπόδια με όσους κάθονται στο τραπέζι. Όσον αφορά την κουζίνα, επειδή η προετοιμασία των υλικών και το μαγείρεμα απαιτεί ασφάλεια, καθαριότητα και προσοχή, η ύπαρξη επαρκούς φωτισμού επιβάλλεται. Τα φωτιστικά που χρησιμοποιούνται εκεί θα πρέπει να είναι ανθεκτικά και κατάλληλα θωρακισμένα, ώστε να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και καπνό [14].

### *3.4.12 Φωτισμός εσωτερικών κοινόχρηστων χώρων*

Σε ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα οι χώροι κυκλοφορίας συνδέουν την είσοδο με τα υπόλοιπα επίπεδα και δωμάτια του κτιρίου. Ο φωτισμός απαιτείται να είναι έντονος, ώστε να μπορούν οι μαθητές να προσανατολιστούν εύκολα στο χώρο. Οι κλίμακες ή οροφή και οι διάδρομοι θα πρέπει να έχουν ζωηρά ανοιχτά χρώματα και με τον κατάλληλο φωτισμό να δημιουργούν στους μαθητές αίσθημα ασφάλειας και γρήγορης προσαρμογής στο χώρο, ώστε να κατευθυνθούν στην επιθυμητή αίθουσα. Διαφορετικά, αν υπήρχαν σκούρα χρώματα στις διάφορες επιφάνειες θα προκαλούσε αυτό ανασφάλεια στους μαθητές ως προς την αίσθηση του χώρου και θα ήταν και πιο ενεργοβόρο, καθώς θα απαιτούνταν μεγαλύτερη ένταση φωτισμού στις επιφάνειες. Στους κοινόχρηστους χώρους που προαναφέρθηκαν οι μαθητές παρατηρούν διάφορες ανακοινώσεις που αναρτώνται στους τοίχους σε αντίστοιχους πίνακες και για αυτό το λόγο θα πρέπει να υπάρχουν αρκετά φωτιστικά τοίχου ή κατευθυντικά φωτιστικά οροφής (spots), ώστε να είναι οι ανακοινώσεις πλήρως ευδιάκριτες. Όσον αφορά τις κλίμακες, φωτιστικά δαπέδου ή τοίχου βοηθούν τους μαθητές να έχουν πλήρη αίσθηση των σκαλιών, ώστε χωρίς κίνδυνο να μπορούν να ανέβουν και να κατέβουν, ενώ πρέπει να αποφεύγονται και θαμβώσεις και παραπλανητικές σκιάσεις.

Προκειμένου να επιτευχθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στους χώρους αυτούς, χρησιμοποιούνται ευρέως αισθητήρες. Τα φωτιστικά ενεργοποιούνται με τη διέλευση ενός ατόμου σε συγκεκριμένη απόσταση από το επίπεδο του αισθητήρα, ενώ όταν παύει να υπάρχει ένα συγκεκριμένο διάστημα δίχως να ανιχνευτεί παρουσία, απενεργοποιούνται. Επίσης όταν ανιχνεύεται έντονη παρουσία φυσικού φωτισμού, αδρανοποιείται ο τεχνητός και παρέχεται αποκλειστικά η στάθμη φωτισμού που απαιτείται [14, 64].

### *3.4.13 Φωτισμός αίθουσας προσωπικού - καθηγητών*

Η αίθουσα των καθηγητών αποτελεί χώρο συσκέψεων και εργασίας για το προσωπικό εκτός μαθήματος. Εκεί διορθώνουν γραπτά, προετοιμάζονται για τα μαθήματα που ακολουθούν, ανταλλάσσουν μεταξύ τους απόψεις και οργανώνονται. Ο φωτισμός θα



πρέπει να είναι ισορροπημένος και να τους προκαλεί ηρεμία και αίσθηση ευφορίας για να είναι αποτελεσματικοί οι καθηγητές σε ότι κάνουν στην αίθουσα αυτή. Στις αίθουσες προσωπικού δύνανται να χρησιμοποιηθούν επιτοίχια φωτιστικά αλλά και φωτιστικά με ανάρτηση, ώστε να παρέχουν φωτισμό στο επίπεδο εργασίας. Επιπλέον, η αξιοποίηση φυσικού φωτισμού περιορίζει την εφαρμογή του τεχνητού φωτισμού για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας κυρίως, αλλά και για να μην επιβαρύνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός με έντονο φωτισμό. Έτσι, μπορούν ήρεμα να αξιοποιήσουν το χρόνο τους και να ολοκληρώσουν τη δουλειά τους στην αίθουσα αυτή, χωρίς να είναι σε μεγάλη εγρήγορση από την επίδραση ισχυρού φωτισμού [14].

### *3.4.14 Φωτισμός αθλητικών εγκαταστάσεων*

Σε ένα χώρο που πραγματοποιούνται αθλητικές δραστηριότητες σε ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα, είτε αυτό είναι εσωτερικός είτε εξωτερικός, απαιτείται να υπάρχει η σωστή ποιότητα φωτισμού. Συνεχείς μετακινήσεις, είτε των μαθητών είτε κάποιας μπάλας, ασκήσεις γυμναστικής, τρέξιμο και ανάγκη για συνεργασία των συμμετεχόντων, δεν είναι δυνατόν τα επιτευχθούν χωρίς να υπάρχει ο κατάλληλος φωτισμός.

Ανάλογα με το άθλημα που λαμβάνει χώρα στο συγκεκριμένο χώρο πρέπει να ρυθμίζεται και ο φωτισμός. Ευρέως χρησιμοποιούνται συστήματα ελέγχου φωτισμού, τα οποία υπάρχει δυνατότητα έχοντας προγραμματίσει από πριν διάφορα μοτίβα, κάθε φορά με το πάτημα ενός κουμπιού να επιλέγεται το αντίστοιχο για κάθε άθλημα και να ρυθμίζονται τα φωτιστικά στην επιθυμητή στάθμη. Στα συστήματα αυτά θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η παρουσία του φυσικού φωτισμού, ώστε και με βάση αυτή κάθε φορά να ρυθμίζεται ο τεχνητός φωτισμός που απαιτείται. Σε αυτό συμβάλλουν αισθητήρες φωτισμού που μεταβάλλουν τα επίπεδα τεχνητού φωτισμού ανάλογα με τις μεταβολές του φυσικού φωτισμού.

Υπάρχουν κάποια κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν επιλέγεται ο φωτισμός για ένα χώρο αθλητικών δραστηριοτήτων. Ο τύπος της τοποθέτησης, η βέλτιστη αποφυγή θάμβωσης και η αντοχή σε χτυπήματα (πχ. από κάποια μπάλα) είναι τρία από αυτά. Όταν η οροφή βρίσκεται σε μεγάλο ύψος επιλέγονται συνήθως αναρτώμενα κρεμαστά φωτιστικά, ενώ φωτιστικά με πολλές περσίδες εξυπηρετούν την αποφυγή θαμβώσεων και ανακλάσεων. Σε αθλήματα με μπάλες επιλέγονται συνήθως χωνευτά φωτιστικά τύπου πάνελ στην οροφή, για αποφυγή συγκρούσεων και φθοράς. Διαφορετικά, σε περίπτωση που υπήρχαν αναρτώμενα φωτιστικά, σε περίπτωση που προσέκρουαν με τη μπάλα θα υπήρχε πιθανότητα να προκληθεί υλική ζημιά.

Σε εξωτερικούς χώρους του εκπαιδευτικού ιδρύματος όπου πραγματοποιούνται αθλητικές δραστηριότητες χρησιμοποιούνται κυρίως προβολείς. Αυτοί τοποθετούνται σε στύλους περιμετρικά του χώρου, κατά κύριο λόγο στις γωνίες και είναι αρκετά υπερυψωμένοι. Έτσι, αποφεύγεται το φαινόμενο της θάμβωσης τόσο στο χώρο άθλησης αλλά και στις κερκίδες και εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ομοιομορφία φωτισμού.

Όσον αφορά τις απαιτήσεις για την ελάχιστη ένταση φωτισμού που απαιτείται ανάλογα με την αθλητική δραστηριότητα, ισχύουν τα εξής σύμφωνα με το πρότυπο EN 12193 [29]:

- Στα περισσότερα αθλήματα με μπάλα απαιτούνται τουλάχιστον 200 lux οριζόντιας έντασης φωτισμού.

- Για γρήγορα αθλήματα με μικρές μπάλες απαιτούνται τουλάχιστον 300 lux οριζόντιας έντασης φωτισμού.

-Σε περιπτώσεις όπου διεξάγεται διαγωνισμός ή προπόνηση για τις ανάγκες ενός διαγωνισμού, οι απαιτήσεις φωτισμού αυξάνονται και για αυτό απαιτούνται 500 - 750 lux οριζόντιας έντασης φωτισμού [14, 64].

### *3.4.15 Φωτισμός χώρου στάθμευσης και προαυλίου*

Οι εξωτερικοί χώροι των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων αποτελούν ζώνες επικοινωνίας των μαθητών, στις οποίες διεξάγονται ψυχαγωγικές και αθλητικές δραστηριότητες. Ο φωτισμός σε τέτοιους χώρους θα πρέπει να σχεδιάζεται με προσοχή, ώστε να εξασφαλίζει ασφάλεια είτε σε περιοχές όπου διέρχονται οχήματα είτε σε διάφορα εμπόδια. Αυτά θα πρέπει να φωτίζονται επαρκώς και να είναι ορατά από τον καθένα, αποφεύγοντας πιθανές θαμβώσεις και σκιάσεις. Απαιτείται επίσης κατάλληλη ισορροπία, ώστε να μη δημιουργούνται μεγάλες σκιάσεις και παραπλανούν την όραση των μαθητών αυξάνοντας τον κίνδυνο πρόκλησης ατυχήματος.

Οι προδιαγραφές για τα φωτιστικά που επιλέγονται στους παραπάνω εξωτερικούς χώρους είναι υψηλές. Επειδή κυκλοφορούν οχήματα σε εξωτερικούς από το εκπαιδευτικό ίδρυμα χώρους, σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464-2 [27], ανάλογα με τη συχνότητα της κίνησης ισχύουν τα εξής για την ελάχιστη απαιτούμενη ένταση φωτισμού:

-20 lux για υψηλή κυκλοφορία πεζών και οχημάτων

-10 lux για μεσαία κυκλοφορία πεζών και οχημάτων

-5 lux για μικρή κυκλοφορία πεζών και οχημάτων

Τα φωτιστικά των εξωτερικών χώρων θα πρέπει εξωτερικά να είναι επαρκώς θωρακισμένα για να είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες, τις μεταβολές της θερμοκρασίας και τις πιθανές φθορές. Απαιτείται ελάχιστος βαθμός προστασίας IP 44. Ο φωτισμός θα πρέπει να συνάδει με την εξωτερική αρχιτεκτονική του κτηρίου. Στους υπαίθριους χώρους τοποθετούνται συχνά στύλοι, όπου υπάρχουν επιφάνειες με οροφή επιλέγονται προβολείς οροφής, ενώ σε πολλά σημεία επιλέγονται φωτιστικά τοίχου ή δαπέδου για πληρέστερη κάλυψη εξωτερικού του χώρου.

Για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας επιλέγονται κυρίως φωτιστικά LED, χωρίς να λείπουν όμως και λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων. Τέλος, επιλέγονται σε αρκετές περιπτώσεις φωτιστικά με κατευθυντήρια συστήματα ανακλαστήρα, ώστε να στρέφεται το φως σε επιλεγμένα σημεία [14].

### *3.4.16 Φωτισμός ασφαλείας*

Ο φωτισμός ασφαλείας έχει πολύ μεγάλη σημασία για όλα τα εκπαιδευτικά ιδρύματα, αφού σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος ή έκτακτης ανάγκης κατευθύνει τα άτομα με ασφάλεια στην έξοδο. Τα φωτιστικά που τοποθετούνται για αυτό το σκοπό τροφοδοτούνται συνήθως από μπαταρίες. Είτε αφορά μεγάλες αίθουσες, όπως η τραπεζαρία και η αίθουσα αθλητικών δραστηριοτήτων, είτε μικρές αίθουσες μαθημάτων, σε κάθε περίπτωση επιτρέπουν σε μαθητές και καθηγητές όταν επικρατεί σκοτάδι και απουσιάζει και ο φυσικός φωτισμός, να προσανατολίζονται στο χώρο και να αποφεύγεται ο συνωστισμός. Υπάρχουν συγκεκριμένα μέρη, όπως το κλιμακοστάσιο, τα οποία συχνά δεν έχουν παράθυρα ή αν έχουν, δεν καλύπτουν αυτούσια μέσω του φυσικού φωτισμού τις ανάγκες του χώρου. Επομένως, τα φωτιστικά ασφαλείας είναι ο μόνος τρόπος να μπορέσει βρει κάποιος τη σωστή διέξοδο αν προκύψει οποιαδήποτε έκτακτη ανάγκη.

Όπου απαιτείται πλέον να τοποθετηθεί φωτιστικό ασφαλείας επιλέγεται να είναι τεχνολογίας LED. Το μικρό τους μέγεθος, η υψηλή ενεργειακή τους απόδοση, λόγω του γεγονότος ότι μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωση τουλάχιστον 70% παραπάνω από ότι αν χρησιμοποιούνται κάποιο συμβατικό φωτιστικό, καθώς και η μεγάλη διάρκεια ζωής που τα χαρακτηρίζει, η οποία αντιστοιχεί σε τουλάχιστον 50.000 ώρες ζωής, είναι τα τρία κύρια χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδανική επιλογή στα φωτιστικά ασφαλείας, έτσι ώστε να εξυπηρετούν το ρόλο τους [65].

Όσον αφορά της απαιτήσεις για την ελάχιστη ένταση φωτισμού ασφαλείας ισχύουν τα εξής σύμφωνα με το πρότυπο EN 1838 [28]:

- Σε καφετέριες, εστιατόρια, κλιμακοστάσια, διαδρόμους, αίθουσες εκθεμάτων και αίθουσες χωρίς παράθυρα απαιτείται τουλάχιστον 1 lux οριζόντιας έντασης φωτισμού ασφαλείας στον κεντρικό άξονα μίας εξόδου διαφυγής μέχρι 2 μέτρα πλάτους.

- Σε αθλητικές εγκαταστάσεις απαιτείται η ένταση φωτισμού ασφαλείας να είναι τουλάχιστον το 10% της έντασης φωτισμού που επικρατεί κανονικά στο χώρο. Αυτό ισχύει όχι μόνο για να μπορεί να φύγει με ασφάλεια το κοινό από το χώρο, αλλά και για να αποφευχθούν πιθανοί τραυματισμοί αθλητών σε περιπτώσεις διακοπής την ώρα που εξελίσσεται κάποιο αθλητικό γεγονός.

- Σε αίθουσες όπου υπάρχει σκηνή, πχ αμφιθέατρο ή αίθουσα θεατρικών παραστάσεων, απαιτούνται τουλάχιστον 3 lux έντασης φωτισμού ασφαλείας [14].

### 3.5 Παραδείγματα εφαρμογής συστημάτων φωτισμού σε εκπαιδευτικά ιδρύματα

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής καινοτόμων δημιουργικών συστημάτων ελέγχου φωτισμού αποτελεί το σύστημα SchoolVision που αναπτύχθηκε μέσω της εταιρείας Philips για σχολικές αίθουσες. Το συγκεκριμένο σύστημα φωτισμού συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών που επικρατούν στην αίθουσα, αξιοποιώντας σε μεγάλο βαθμό το φυσικό φωτισμό. Επιτρέπει στους μαθητές να διατηρούνται σε εγρήγορση, να είναι ήρεμοι και συγκεντρωμένοι και να συμμετέχουν με όρεξη στη διαδικασία του μαθήματος, εμπλουτίζοντας αποδοτικά τις γνώσεις τους.

Μέσω του SchoolVision μπορεί ο δάσκαλος να ελέγχει το περιβάλλον φωτισμού στη σχολική αίθουσα, προκειμένου να δημιουργεί τη σωστή ατμόσφαιρα και διάθεση, ανάλογα με την ώρα ή το μάθημα. Παρέχονται τέσσερις διαφορετικές επιλογές περιβάλλοντος για τη σχολική αίθουσα: Energy, Focus, Calm και Normal. Η επιλογή γίνεται μέσω μιας επιφάνειας αφής, και έτσι ο φωτισμός προσαρμόζεται στις συνθήκες της τρέχουσας εργασίας που εκτελείται στην αίθουσα, ενώ περιορίζονται οι ανεπιθύμητες σκιάσεις και θαμβώσεις. Το θερμό και το φυσικό λευκό φως υποστηρίζουν με εναλλασσόμενες διαβαθμίσεις το ρυθμό της εκάστοτε δραστηριότητας, ώστε να εξυπηρετεί είτε συνθήκες χαλάρωσης είτε διατήρησης σε εγρήγορση.

Το πρόγραμμα SchoolVision εφαρμόστηκε για ένα χρόνο στο πλαίσιο ενός επιστημονικού πειράματος από το Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf σε σχολεία του Αμβούργου στη Γερμανία και παρατηρήθηκαν εντυπωσιακά αποτελέσματα. Συμμετείχαν σε αυτές τις δοκιμές 18 δάσκαλοι και 166 μαθητές ηλικίας 8 έως 16 ετών. Η αξιοποίηση της δυναμικής του φυσικού φωτισμού στην αίθουσα βελτίωσε σε μεγάλο βαθμό το εύρος της προσοχής, η συγκέντρωση, καθώς και η συμπεριφορά των μαθητών ενώ κατάφεραν να μειώσουν τα λάθη τους και να διαβάζουν πιο γρήγορα, με την ταχύτητα ανάγνωσής του να αυξάνεται κατά 35%. Επίσης, οι μαθητές διάβαζαν κατά

μέσο όρο 1051 λέξεις σε συγκεκριμένο διάστημα, σε σύγκριση με τις 780 λέξεις κατά τη μέτρηση αναφοράς που έγινε. Επιπλέον, τα αποτελέσματα του τεστ συγκέντρωσης ήταν πολύ εμφανή, καθώς η συχνότητα σφαλμάτων μειώθηκε σχεδόν κατά 45%, από μέσο όρο 17.45 σφαλμάτων σε μόλις 9 σφάλματα.

Πέρα από τα μαθησιακά αποτελέσματα που επέφεραν οι δοκιμές, εξετάστηκαν επιπλέον οι επιδράσεις που είχε το SchoolVision στην επιθετικότητα και στην υπερκινητικότητα. Η μείωση της επιθετικότητας που προέκυπτε δεν ήταν ιδιαίτερα αισθητή, αλλά στο βίντεο καταγράφηκε σημαντική μεταβολή στα επίπεδα της υπερκινητικότητας, η οποία μειώθηκε έως και 76% όταν στους μαθητές δόθηκε να λύσουν ένα μαθηματικό πρόβλημα υπό συνθήκες χαλαρού φωτισμού, ποσοστό πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της μέτρησης αναφοράς και της ομάδας ελέγχου [1].

Εξίσου σημαντικό παράδειγμα εφαρμογής καινοτόμου συστήματος φωτισμού αποτελεί η εφαρμογή του συστήματος ελέγχου φωτισμού LUXMATE, της εταιρείας Zumtobel σε σχολείο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιοχή Sonthofen της Γερμανίας. Η αποτελεσματικότητά του στην εφαρμογή του, έπειτα από ανακαίνιση αιθουσών διδασκαλίας στο σχολείο, συνέβαλε στην εξοικονόμηση ενέργειας κατά 53%, συγκριτικά με την κατάσταση που επικρατούσε πριν την ανακαίνιση. Η συνολική κατανάλωση του σχολείου μειώθηκε από 13.7 kWh/m<sup>2</sup>a σε 6.5 kWh/m<sup>2</sup>a. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.4, το 2006, χωρίς την αξιοποίηση του LUXMATE, η ενεργειακή κατανάλωση στη συγκεκριμένη αίθουσα του σχολείου ήταν 16.4 W/m<sup>2</sup>. Η εφαρμογή όμως του συστήματος μείωσε την κατανάλωση σε όλα τα στάδια της ημέρας, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες. Για παράδειγμα στις 12:00 το μεσημέρι, η αξιοποίηση φυσικού φωτισμού ήταν η βέλτιστη και τελικά χρειαζόταν κατανάλωση τεχνητού φωτισμού μόνο 4.8 W/m<sup>2</sup>. Η μέγιστη κατανάλωση που προέκυπτε, ήταν τις απογευματινές ώρες, καθώς στις 17:30 καταναλώνονταν 7.6 W/m<sup>2</sup>, ποσό που ακόμα και την ώρα εκείνη ήταν μικρότερο από τη μισή κατανάλωση που προέκυπτε το 2006 [60].



Εικόνα 3.4 Ενεργειακή κατανάλωση τεχνητού φωτισμού σε αίθουσα σχολείου στο Sonthofen πριν και μετά την εφαρμογή του LUXMATE [60]

Μία άλλη περίπτωση είναι η εφαρμογή δοκιμαστικής εγκατάστασης συστημάτων φωτισμού LED τεχνολογίας σε τρεις αίθουσες διδασκαλίας στην ανεξάρτητη σχολική συνοικία Carrollton-Farmers Branch Independent School District (CFB), που βρίσκεται στην πόλη Carrollton των Η.Π.Α, από την εταιρεία ABL (Acuity Brands Lighting). Πλησίον σε κάθε μία από τις τρεις αίθουσες, υπήρχε μία άλλη παρόμοια αίθουσα, προκειμένου να χρησιμοποιείται η κάθε μία από αυτές ως σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση των αλλαγών. Το σχολείο ανεγέρθηκε πριν το 1990 και χρησιμοποιούσε, μέχρι τη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε, φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού T8, τα οποία είχαν συνολική κατανάλωση ισχύος 108 W έκαστο.

Τα νέα φωτιστικά εγκαταστάθηκαν το 2016. Το σύστημα ελέγχου φωτισμού παρείχε τη δυνατότητα αλλαγής της φασματικής κατανομής ισχύος (SPD) του φωτισμού σε τέσσερις προκαθορισμένες συνθήκες, που σχετίζονται με ονομαστικές τιμές CCT για τη θερμοκρασία: 3000 K, 3500 K, 4200 K και 5000 K. Η φωτεινή ισχύς των φωτιστικών κυμαινόταν από 4600 lm έως 5000 lm, ενώ η ισχύς εξόδου τους λάμβανε τιμές από 34 W ως 45 W.

Από τις μετρήσεις που υλοποιήθηκαν προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα. Η μείωση της ισχύος εισόδου για το ρυθμιζόμενο σύστημα φωτισμού LED, εκτιμήθηκε ότι είναι 58% σε σχέση με το υπάρχον σύστημα φθορισμού. Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούσαν, οι δάσκαλοι ρύθμιζαν με χειριστήριο το φωτισμό του χώρου, μέσω dimming επιθυμητής στάθμης. Οι εκπαιδευτικοί που αξιοποίησαν το σύστημα ελέγχου εφάρμοσαν την αλλαγή στάθμης φωτισμού, μέσω χειρισμού, αλλά σπάνια χρησιμοποίησαν τους ελέγχους SPD. Τα επίπεδα φωτεινότητας στις αίθουσες διδασκαλίας με τη μέγιστη απόδοση ικανοποιούν ή υπερβαίνουν τις συστάσεις IES για τις τυπικές οπτικές εργασίες, τόσο με το νέο LED όσο και με τα υπάρχοντα συστήματα φθορισμού. Η συνεκτικότητα των χρωμάτων για τα φωτιστικά λευκών οδηγήσεων, που χρησιμοποιήθηκαν στις αίθουσες διδασκαλίας, ήταν αποτελεσματική και όσον αφορά το φάσμα του φωτισμού, με μικρές διακυμάνσεις των CCT και Duv.

Αντίστοιχα συστήματα, λοιπόν, επιτρέπουν την απομακρυσμένη και ρυθμιζόμενη μεταβολή της στάθμης φωτισμού στις αίθουσες. Ο δάσκαλος, ανάλογα με τη θέση που κατέχει στην αίθουσα, ρυθμίζει το φωτισμό. Όσον αφορά τη δυνατότητα αλλαγής της θερμοκρασίας χρώματος δεν παρέχει απαραίτητα επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας. Επειδή τα συστήματα συντονισμού χρωμάτων είναι επί του παρόντος πιο δαπανηρά από τα συστήματα σταθερών χρωμάτων LED, τα οποία διευθετούν πλήρη έλεγχο σκηνής και φωτισμού. Η δυσκολία τεκμηρίωσης και εκχώρησης της οικονομικής αξίας για τα δυνητικά αυτά μη ενεργειακά οφέλη, αποτελεί μείζονα πρόκληση για τα έγχρωμα συστήματα συντονισμού σε αίθουσες διδασκαλίας και σε άλλες εφαρμογές [61].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΡΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 4.1 Γενικές πληροφορίες χώρου – Εισαγωγή

Οι χώροι που θα μελετηθούν στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι δύο αίθουσες των νέων κτιρίων της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, η οποία βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.



Εικόνα 4.1 Κάτοψη Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου [59]

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1, τα κτίρια είναι πλησίον της εξόδου στην οδό Κοκκινοπούλου στη βορειοανατολική πλευρά του κτιρίου. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 2005, όταν παραδόθηκε ένα μέρος, το οποίο περιλάμβανε τα αμφιθέατρα 1, 2, 3 και ορισμένες αίθουσες και εργαστήρια. Το υπόλοιπο τμήμα του σημερινού οικοδομήματος παραδόθηκε το 2008 και αυτό περιλαμβάνει όλα τα γραφεία, αίθουσες και αμφιθέατρα που απαρτίζουν τη σημερινή μορφή της σχολής. Οι συγκεκριμένες αίθουσες που θα τεθούν υπό μελέτη στην εργασία είναι η αίθουσα 001 και η αίθουσα 007, που βρίσκονται στο ισόγειο του κτιρίου. Η τοποθεσία τους στο χώρο φαίνεται στο ακόλουθο σχέδιο της κάτοψης του ισογείου του κτιρίου με τα βέλη κυανού χρώματος. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα σχέδια εστάλησαν από το Τμήμα Μελετών της Τεχνικής Υπηρεσίας του Ε.Μ.Π., κατόπιν συνεννόησης, για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία και η κάτοψη παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2 Κάτοψη Ισογείου σχολής ΗΜΛΥ στο ΕΜΠ



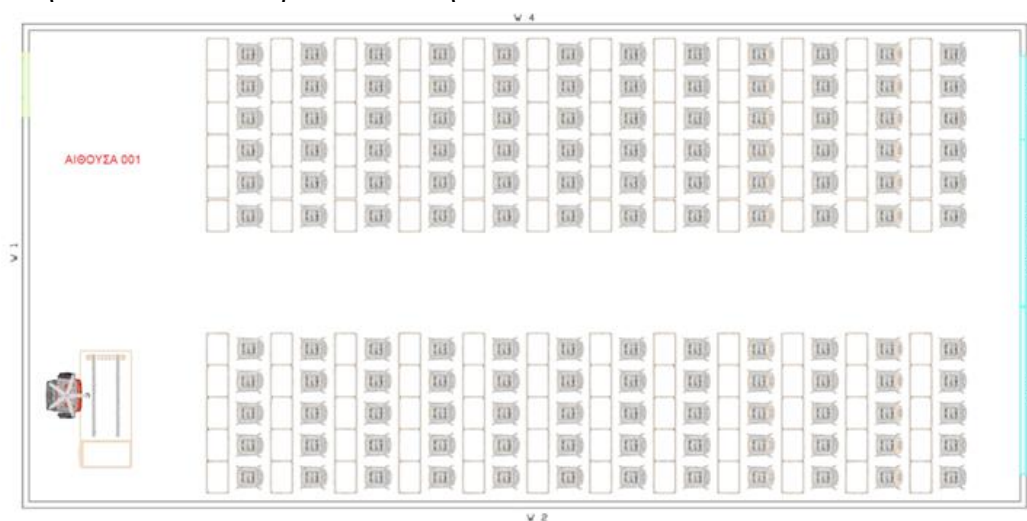
## 4.2 Αίθουσα 001

Η αίθουσα 001 χρησιμοποιείται για διαλέξεις και για παραδόσεις μαθημάτων, κυρίως ροών και όχι κορμού, διότι δεν διαθέτει χωρητικότητα για μεγάλο αριθμό φοιτητών σε σύγκριση με τα αμφιθέατρα. Έχει διαστάσεις 7.35 m x 15.5 m x 2.8 m και το εμβαδό του χώρου που καταλαμβάνει είναι 113.93 m<sup>2</sup>. Ως προς τη θέση της στο χώρο, βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του ισογείου του κτιρίου. Στην εικόνα 4.3 φαίνεται ο εσωτερικός χώρος της αίθουσας 001.



Εικόνα 4.3 Εσωτερικός χώρος της αίθουσας 001

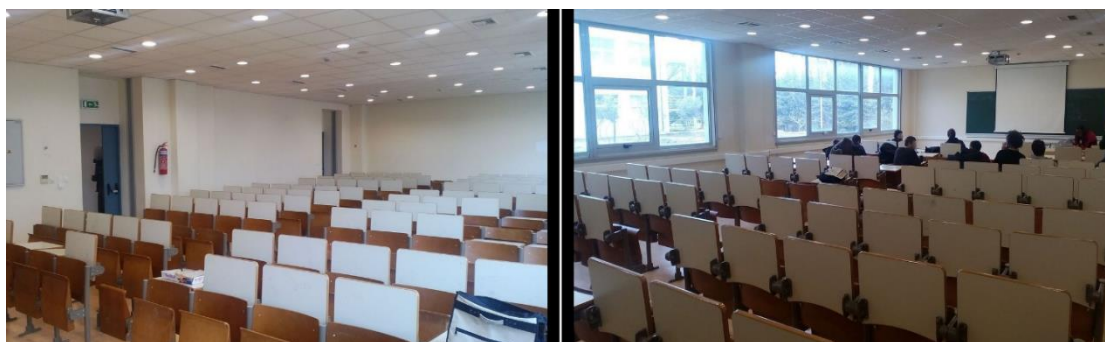
Μέσα στην αίθουσα υπάρχουν 132 έδρανα συνολικά. Χωρίζονται σε 12 σειρές επί 6 έδρανα η καθεμία, στη μέση υπάρχει ένας διάδρομος και δίπλα άλλες 12 σειρές στο ίδιο επίπεδο, επί 5 έδρανα η καθεμία. Ο πίνακας βρίσκεται στην άκρη του δυτικού τοίχου, στο νότιο τμήμα όπως φαίνεται και στην κάτοψη. Είναι τοποθετημένος σε ύψος 0.8 m από το έδαφος και έχει διαστάσεις 4 m x 1.27 m. Επιπλέον, υπάρχει μία πόρτα εισόδου στον δυτικό τοίχο της αίθουσας, στο βόρειο τμήμα του, όπως ακριβώς φαίνεται στην κάτοψη που ακολουθεί. Ο ανατολικό τοίχος, σε όλη σχεδόν την επιφάνειά του, καταλαμβάνεται από υαλοπίνακες, μέσω των οποίων επιτρέπεται η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Η επιφάνεια που καλύπτουν πιο συγκεκριμένα είναι 13.11 m<sup>2</sup>. Τα έδρανα έχουν διαστάσεις επιφάνειας γραφής 0.5 m x 0.35 m και ύψος 0.7 m. Η κάτοψη για την αίθουσα 001 παρατίθεται στην εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.4 Κάτοψη αίθουσας 001

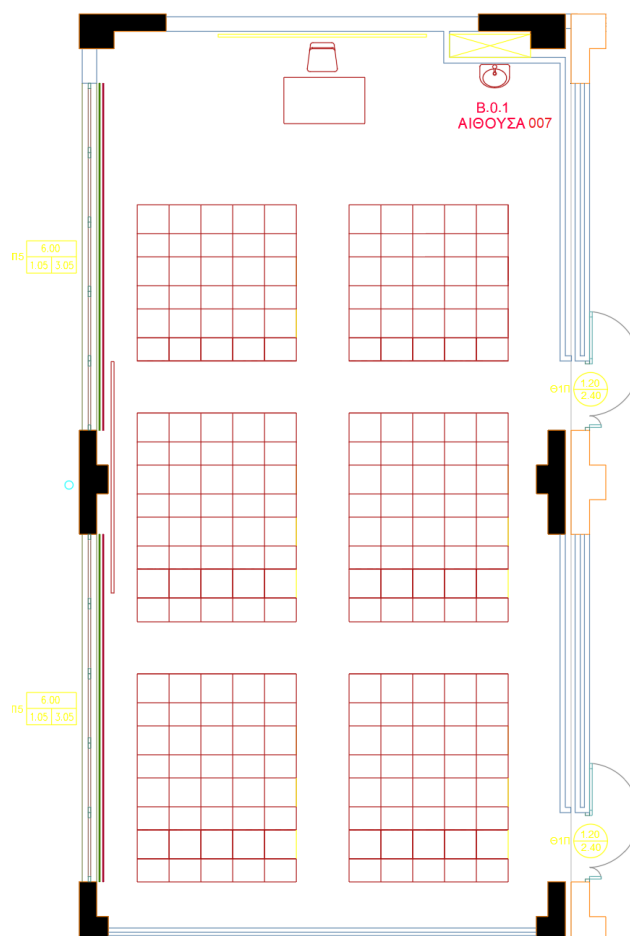
### 4.3 Αίθουσα 007

Η αίθουσα 007 χρησιμοποιείται αντίστοιχα με την αίθουσα 001, αλλά έχει περισσότερα έδρανα και μεγαλύτερες διαστάσεις από αυτήν. Έχει διαστάσεις  $15.5\text{ m} \times 7.9\text{ m} \times 2.9\text{ m}$  και το εμβαδό του χώρου που καταλαμβάνει είναι  $122.45\text{ m}^2$ . Ως προς τη θέση της στο χώρο, βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του ισογείου του κτιρίου. Στην εικόνα 4.5 φαίνεται ο εσωτερικός χώρος της αίθουσας 007.



Εικόνα 4.5 Εσωτερικός χώρος της αίθουσας 007

Μέσα στην αίθουσα υπάρχουν 100 έδρανα συνολικά. Χωρίζονται σε 10 σειρές επί 5 έδρανα η καθεμία, στη μέση υπάρχει ένας διάδρομος και δίπλα άλλες 10 σειρές στο ίδιο επίπεδο, επί 5 έδρανα η καθεμία. Ο πίνακας βρίσκεται στη μέση του βόρειου τοίχου. Είναι τοποθετημένος σε ύψος  $0.8\text{ m}$  από το έδαφος και έχει διαστάσεις  $4\text{ m} \times 1.27\text{ m}$ . Υπάρχουν δύο θύρες εισόδου στον ανατολικό τοίχο της αίθουσας, όπως ακριβώς φαίνεται στην κάτοψη που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα, η οποία περιλαμβάνεται στα σχέδια του κτιρίου. Ο δυτικός τοίχος, στο μεγαλύτερο μέρος του, καταλαμβάνεται από υαλοπίνακες, μέσω των οποίων επιτρέπεται η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Τα έδρανα, όπως και στην αίθουσα 001, έχουν διαστάσεις επιφάνειας γραφής  $0.5\text{ m} \times 0.35\text{ m}$  και ύψος  $0.7\text{ m}$ . Η κάτοψη για την αίθουσα 007 παρατίθεται στην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6 Κάτοψη αίθουσας 007

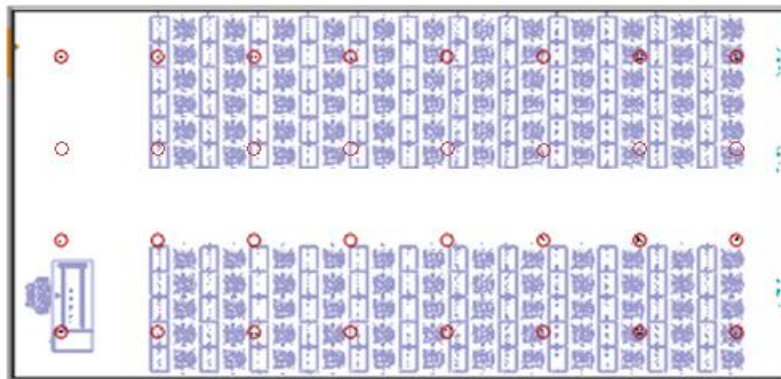
#### 4.4 Υφιστάμενη εγκατάσταση φωτισμού

Στις αίθουσες 001 και 007 χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος φωτιστικών. Πρόκειται για χωνευτό φωτιστικό οροφής με κυκλικό διαχύτη. Έχει ως φωτεινή πηγή δύο συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού ισχύος 16 W έκαστος (2x16W). Η οροφή αποτελείται από τετράγωνες πλάκες ορυκτής ίνας διαστάσεων 0.625 m x 0.625 m και τα φωτιστικά βρίσκονται στο κέντρο κάθε πλακάς. Ανάμεσα από δύο τετράγωνα τμήματα με φωτιστικά παρεμβάλλεται ένα τετράγωνο τμήμα χωρίς φωτιστικό, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7.

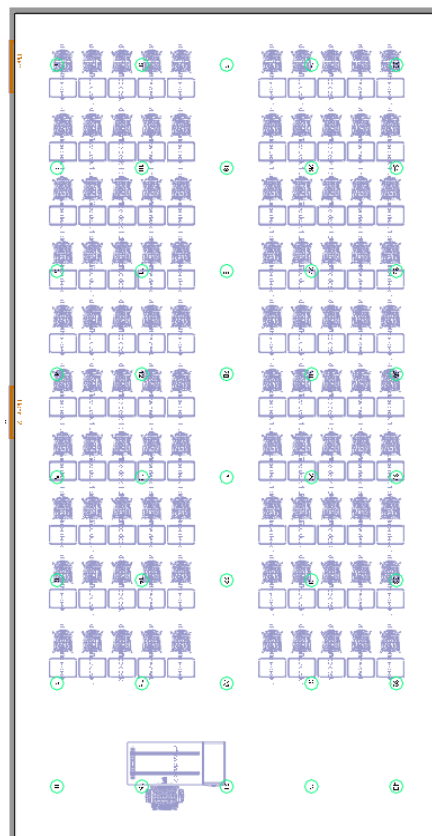


Εικόνα 4.7 Φωτιστικά υπάρχουσας εγκατάστασης

Η κάτοψη των δύο αιθουσών, στην οποία περιλαμβάνονται τα φωτιστικά της υπάρχουσας εγκατάστασης φωτιστικών, παρουσιάζεται στις εικόνες 4.8 και 4.9 αντίστοιχα:



Εικόνα 4.8 Κάτοψη υπάρχουσας εγκατάστασης φωτιστικών αίθουσας 001



Εικόνα 4.9 Κάτοψη υπάρχουσας εγκατάστασης φωτιστικών αίθουσας 007

Προκειμένου να υπολογιστεί η κατανάλωση ισχύος του συνολικού αριθμού φωτιστικών της κάθε αίθουσας θεωρείται, ότι λόγω παλαιότητας της υπάρχουσας εγκατάστασης και χρήσης των ballast που διαθέτουν, δίνεται προσαύξηση στην τελική πραγματική ισχύ που καταναλώνουν τα φωτιστικά. Στην παρούσα εγκατάσταση εκτιμάται, ότι η προσαύξηση της καταναλισκόμενης ισχύος λόγω των ballast είναι περίπου στο 20% της αρχικής κατανάλωσης που είχαν τα φωτιστικά.

Όσον αφορά την αίθουσα 001, στην οροφή είναι κατανεμημένα ομοιόμορφα 32 φωτιστικά, τα οποία σχηματίζουν 8 σειρές, η καθεμία από τις οποίες αποτελείται από 4 φωτιστικά. Με βάση την ισχύ των εγκατεστημένων φωτιστικών προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για την κατανάλωση ισχύος στην αίθουσα 001:

$P_1 = 32 \cdot (2 \cdot 16 \text{ W}) = 1024 \text{ W}$ , άρα με την προσαύξηση λόγω των ballast:

$P_{1\text{τελικό}} = 1024 \cdot 1.2$ , δηλαδή

**$P_{1\text{τελικό}} = 1228.8 \text{ W}$**

Όσον αφορά την αίθουσα 007, στην οροφή είναι κατανεμημένα ομοιόμορφα 40 φωτιστικά, τα οποία σχηματίζουν 8 σειρές, η καθεμία από τις οποίες αποτελείται από 5 φωτιστικά. Με βάση την ισχύ των εγκατεστημένων φωτιστικών προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για την κατανάλωση ισχύος στην αίθουσα 007:

$P_7 = 40 \cdot (2 \cdot 16 \text{ W}) = 1280 \text{ W}$ , άρα με την προσαύξηση λόγω των ballast:

$P_{7\text{τελικό}} = 1280 \cdot 1.2$ , δηλαδή

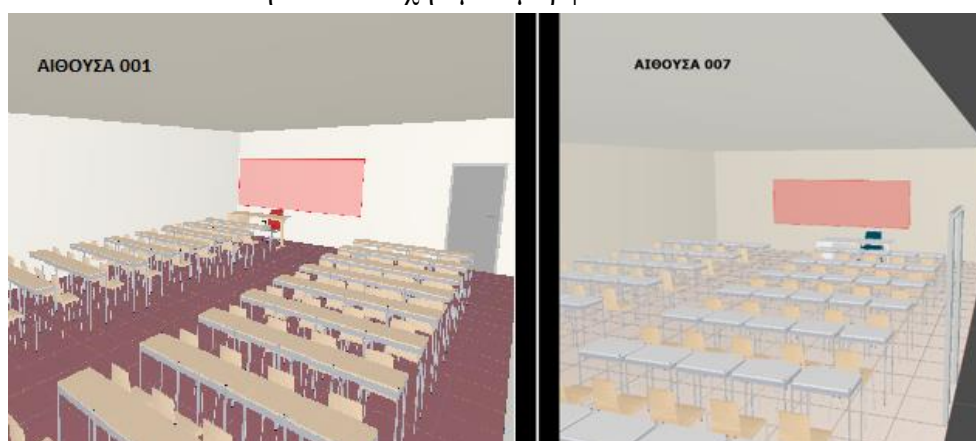
**$P_{7\text{τελικό}} = 1536 \text{ W}$**



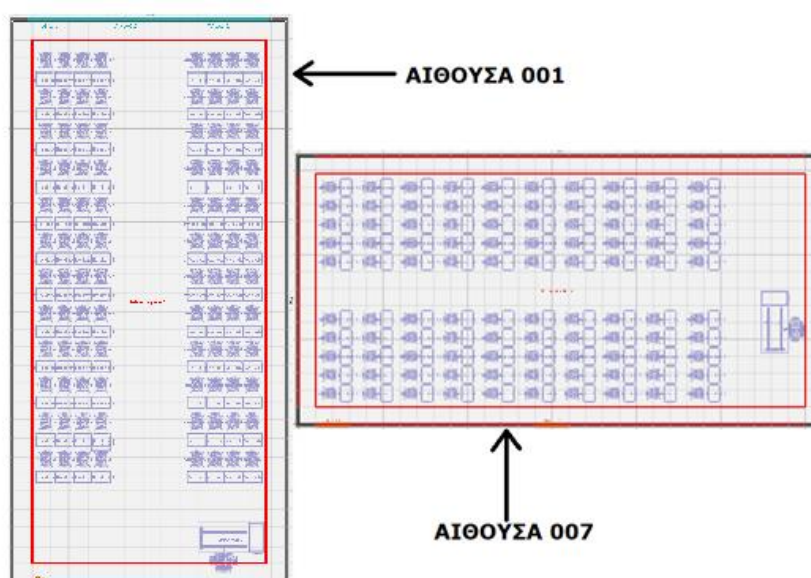
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

### 5.1 Εισαγωγή

Μέσω του εμπορικού λογισμικού ReluxPro πραγματοποιήθηκε η μελέτη και η προσομοίωση εγκαταστάσεων φωτιστικών για τις δύο υπό μελέτη αίθουσες που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Το λογισμικό πραγματοποιεί μετρήσεις για τα επιθυμητά αποτελέσματα και εξάγει αποτελέσματα. Η πρώτη επιφάνεια μέτρησης καθορίζεται στην κάθετη επιφάνεια που ορίζει το επίπεδο του πίνακα με τις αντίστοιχες διαστάσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.1 για την κάθε αίθουσα. Η επόμενη επιφάνεια περιλαμβάνει το reference plane της αίθουσας, που αντιστοιχεί στο οριζόντιο επίπεδο εργασίας των εδράνων, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2. Για τις επιφάνειες αυτές το Relux υπολογίζει, μέσω προσομοιώσεων, την ένταση φωτισμού που προσπίπτει στο κάθε επίπεδο αλλά και την αντίστοιχη ομοιομορφία.



Εικόνα 5.1 Θέση πίνακα στις αίθουσες στο Relux



Εικόνα 5.2 Reference plane 1.1 στις αίθουσες στο ReluxPro



Η αναπαράσταση των αιθουσών, όπως προκύπτει μέσω του λογισμικού Relux, επιλέγεται, έτσι ώστε στο νότιο τμήμα να βρίσκεται ο τοίχος, από τον οποίον εισέρχονται οι σπουδαστές στους χώρους, μέσω των διαθέσιμων θυρών.

Προκειμένου να επιλεχθούν οι βέλτιστες εγκαταστάσεις φωτιστικών για την κάθε αίθουσα, πραγματοποιήθηκε μεγάλο πλήθος δοκιμών για διαφόρους τύπους φωτιστικών. Το γεγονός ότι ο πίνακας βρίσκεται στην κάθε αίθουσα σε διαφορετικό σημείο του τοίχου, καθιστά την επιλογή φωτιστικού ιδιαίτερη για κάθε περίπτωση, διότι πρέπει η εγκατάσταση να παρέχει τα απαραίτητα επίπεδα φωτισμού και στην κατακόρυφη επιφάνεια στην αντίστοιχη θέση. Όπως προαναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4, στην αίθουσα 001 είναι τοποθετημένος στην άκρη του δυτικού τοίχου, στο νότιο τμήμα, σε ύψος 0.8 m από το έδαφος και έχει διαστάσεις 4 m x 1.27 m. Στην αίθουσα 007 βρίσκεται στη μέση του βόρειου τοίχου, σε ύψος 0.8 m από το έδαφος και έχει διαστάσεις 4 m x 1.27 m. Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται πιο έντονος φωτισμός κοντά στο επίπεδο του πίνακα, καθώς ένα τμήμα του βρίσκεται πλησίον της συμβολής των δύο τοίχων και δεν είναι εύκολο να φωτιστεί επαρκώς από συμμετρική εγκατάσταση φωτιστικών στην οροφή. Στη δεύτερη είναι πιο εύκολο να επιτευχθεί ομοιόμορφος φωτισμός του πίνακα, καθώς το γεγονός ότι βρίσκεται στο μέσο του τοίχου επιτρέπει τον άμεσο φωτισμό του από συμμετρική εγκατάσταση φωτιστικών. Σε κάθε περίπτωση μελέτης μέσω του ReluxPro γινόταν προσπάθεια να επιλεχθεί συγκεκριμένος αριθμός φωτιστικών, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καθενός, με διαφορετική διάταξη κάθε φορά στην οροφή της αίθουσας, έτσι ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στην κατανομή τους και να ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 για αίθουσες διδασκαλίας ενηλίκων. Τα μεγέθη αυτά που ελέγχονταν κάθε φορά παρατίθενται στον πίνακα 5.1:

**Πίνακας 5.1 Οριακές τιμές μεγεθών που ορίζει το πρότυπο EN 12464-1 [26]**

$E_{m(\text{εδράνων})} \geq 500 \text{ lux}$	$U_{0(\text{εδράνων})} \geq 0.60$
$E_{m(\text{κάθε τοίχου})} \geq 50 \text{ lux}$	$U_{0(\text{κάθε τοίχου})} \geq 0.10$
$E_{m(\text{οροφής})} \geq 30 \text{ lux}$	$U_{0(\text{οροφής})} \geq 0.10$
$E_{m(\text{πίνακα})} \geq 500 \text{ lux}$	$U_{0(\text{πίνακα})} \geq 0.70$
$UGR_{\text{φωτιστικού}} < 19$	
$CRI \geq 80$	

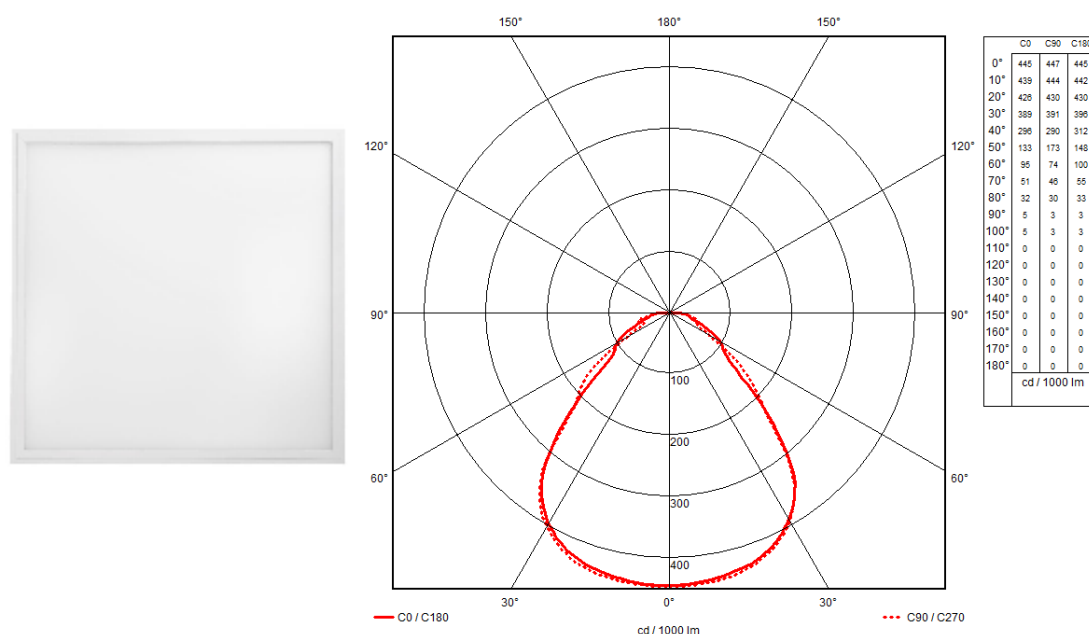
Τελικά, μέσω της προσομοίωσης, επιλέχθηκαν για κάθε αίθουσα οι 9 καλύτερες περιπτώσεις φωτιστικών για την καθεμία, οι οποίες είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται όλες οι διατάξεις και καταγράφονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση της κάθε περίπτωσης, ενώ γίνεται αναφορά και στα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε φωτιστικού που επιλέχθηκε.



## 5.2 Αποτελέσματα αίθουσας 001

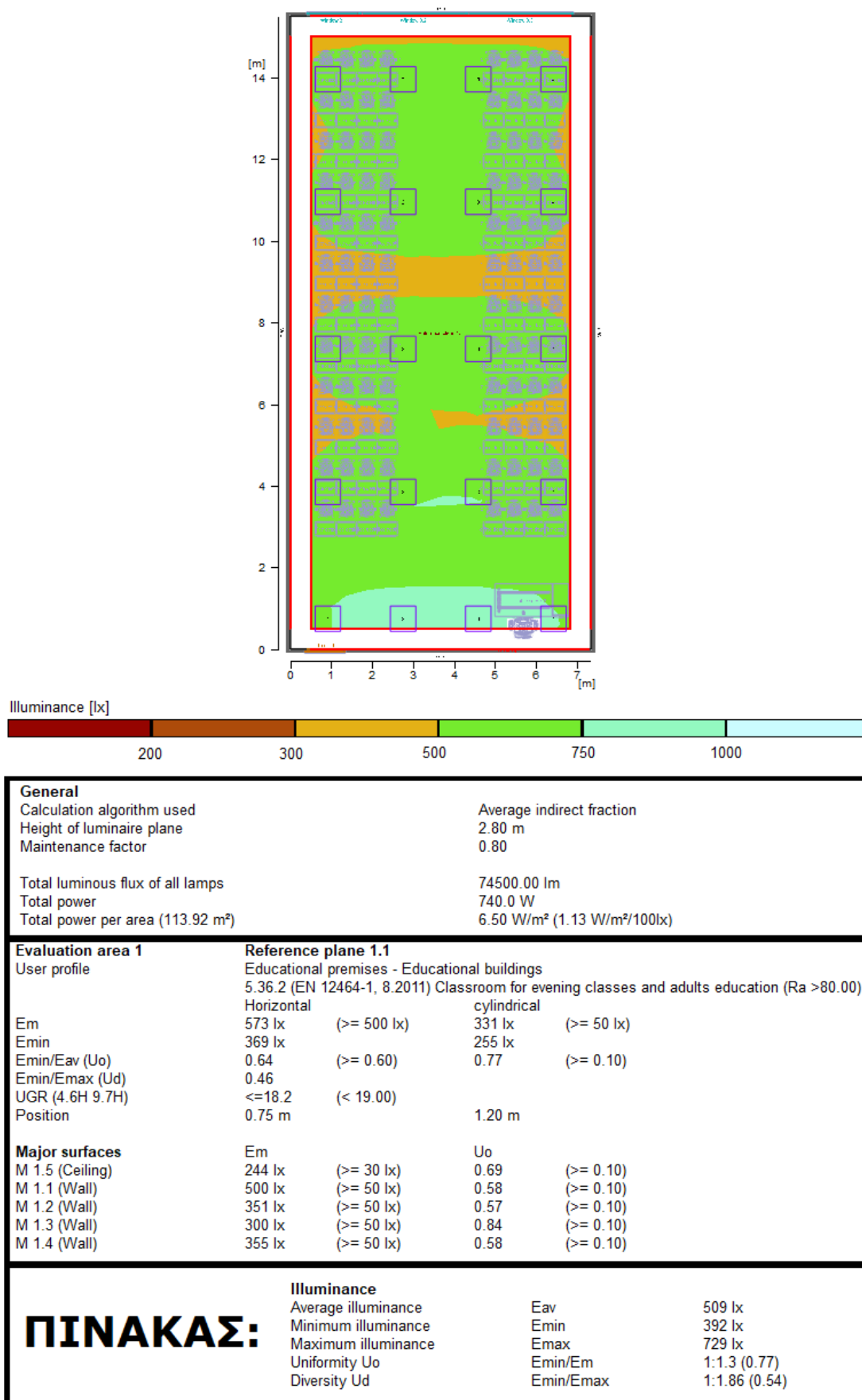
### 5.2.1 Διάταξη 1

Το πρώτο φωτιστικό είναι το **ELEDN-40NW11P** της εταιρείας **A.L.S.**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 37 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 100.68 lm/W. Έχει διαστάσεις 622 mm x 622 mm x 9 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.3.α και 5.3.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.1.



Εικόνα 5.3 α)Μορφή Φωτιστικού ELEDN-40NW11P και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

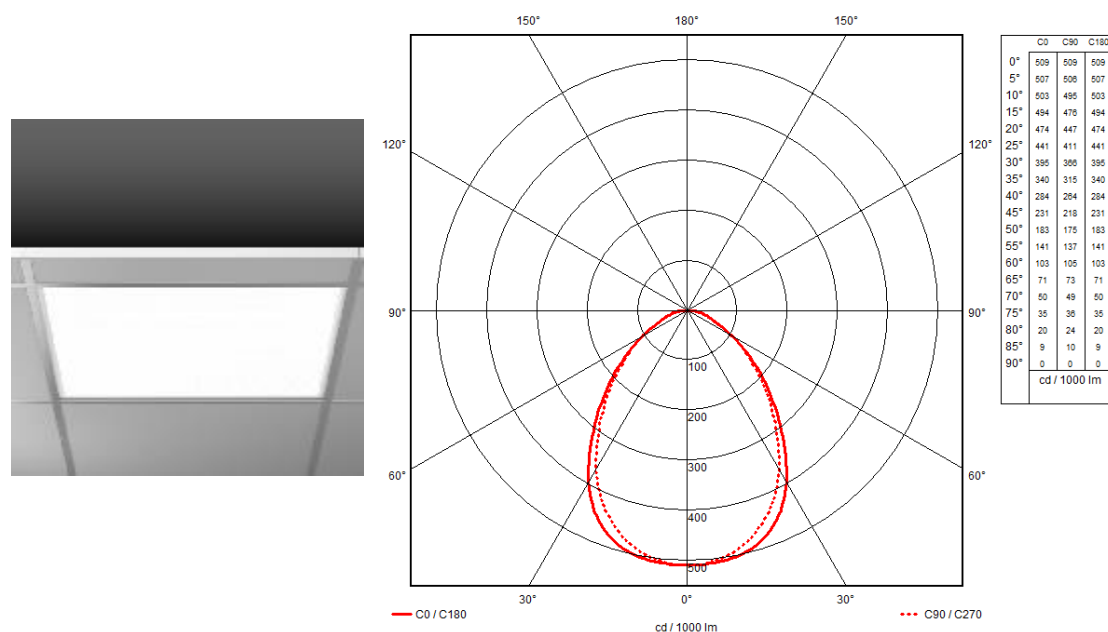
Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.4 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 740 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 573 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.64, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 509 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.77. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.2. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 1 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 1 στην αίθουσα 001

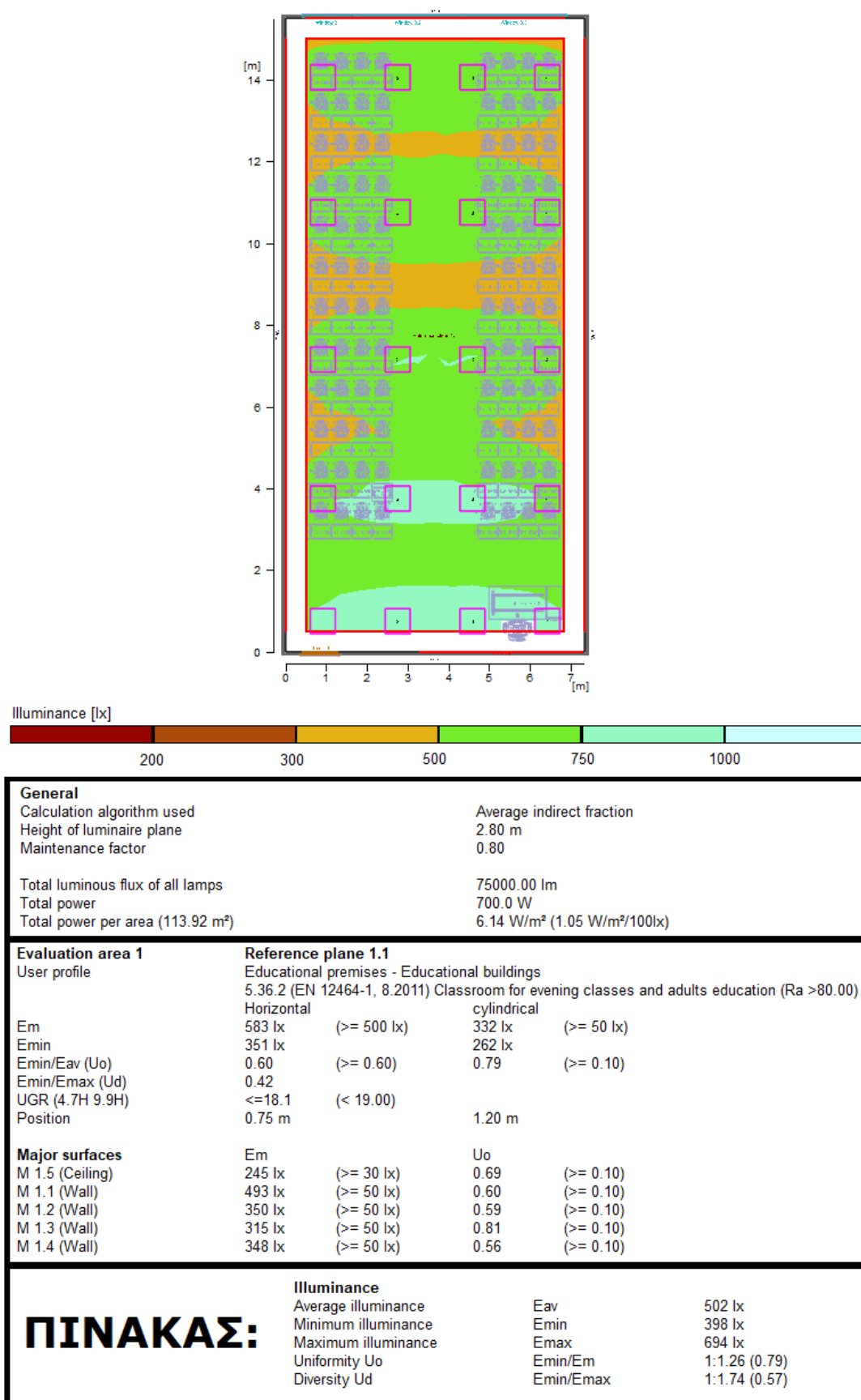
## 5.2.2 Διάταξη 2

Το δεύτερο φωτιστικό είναι το **Sidelite ECO 35 312102.002.1.76** της εταιρείας **RZB**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 35 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 107.1 lm/W. Έχει διαστάσεις 622 mm x 622 mm x 15 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.5.α και 5.5.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.2.



Εικόνα 5.5 α)Μορφή Φωτιστικού Sidelite ECO 35 312102.002.1.76 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

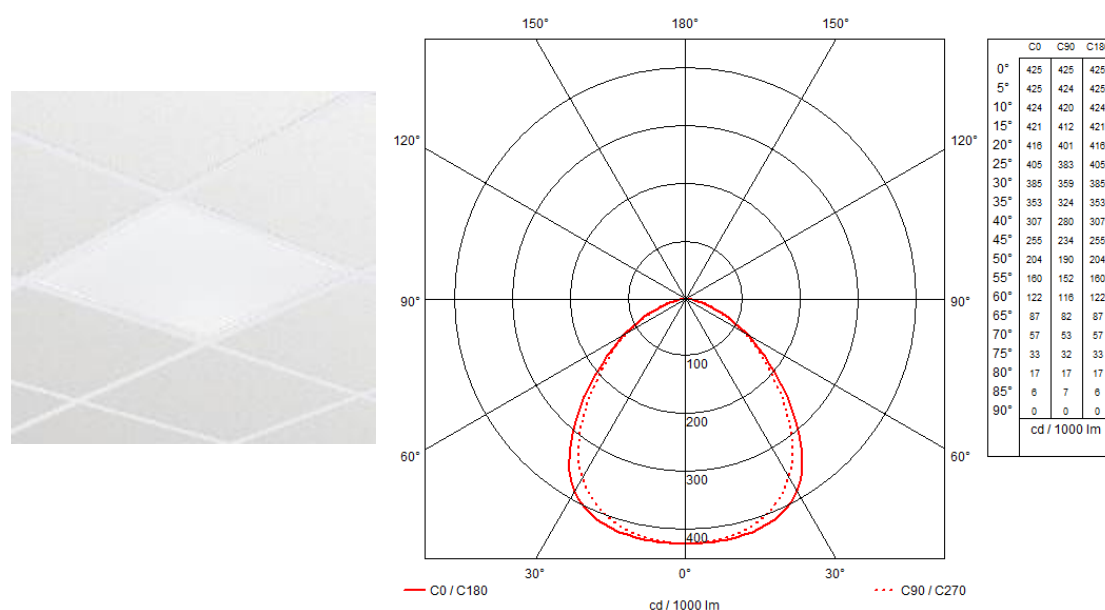
Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.6 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 700 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 583 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.60, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 502 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.79. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.1. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ομοιομορφία στο οριζόντιο επίπεδο της επιφάνειας εργασίας των εδράνων (0.60) είναι οριακά αποδεκτή, λαμβάνοντας την ελάχιστη δυνατή τιμή της, σύμφωνα με το πρότυπο. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 2 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.6.



Εικόνα 5.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 2 στην αίθουσα 002

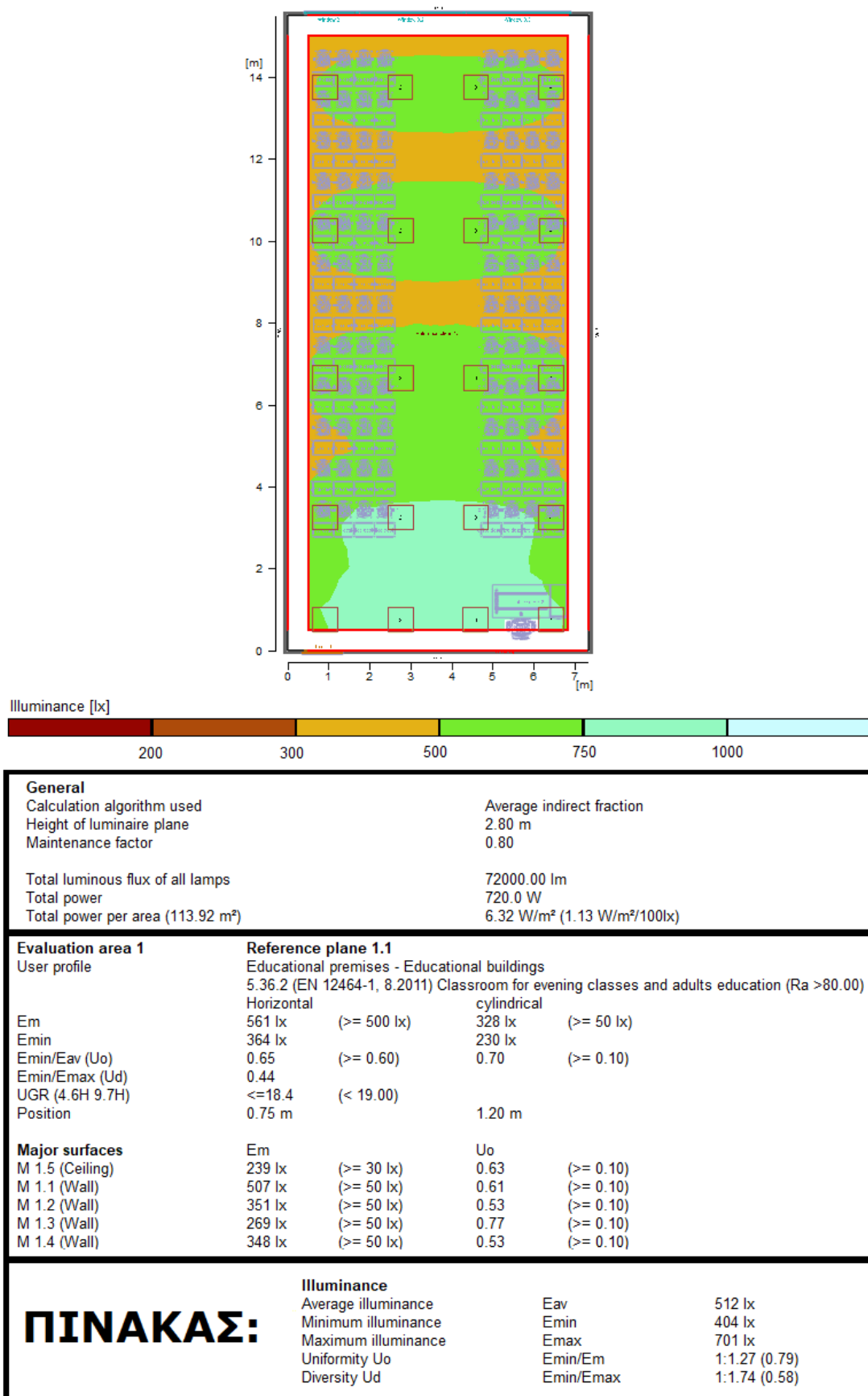
### 5.2.3 Διάταξη 3

Το τρίτο φωτιστικό είναι το **CoreLine Panel RC132V W60L60 1 xLED36S/840 OC** της εταιρείας **Philips**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 36 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 100 lm/W. Έχει διαστάσεις 597 mm x 597 mm x 32 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.7.α και 5.7.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.3.



**Εικόνα 5.7 α)Μορφή Φωτιστικού CoreLine Panel RC132V W60L60 1 xLED36S/840 OC και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα**

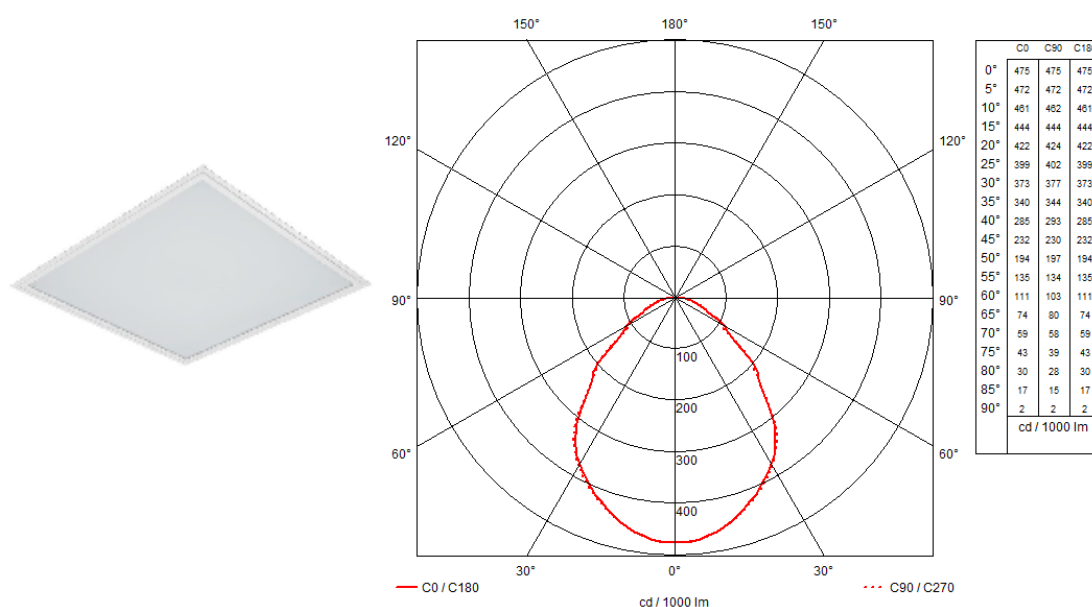
Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.8 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 720 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 561 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.65, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 512 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.79. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.4. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 3 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 3 στην αίθουσα 001

#### 5.2.4 Διάταξη 4

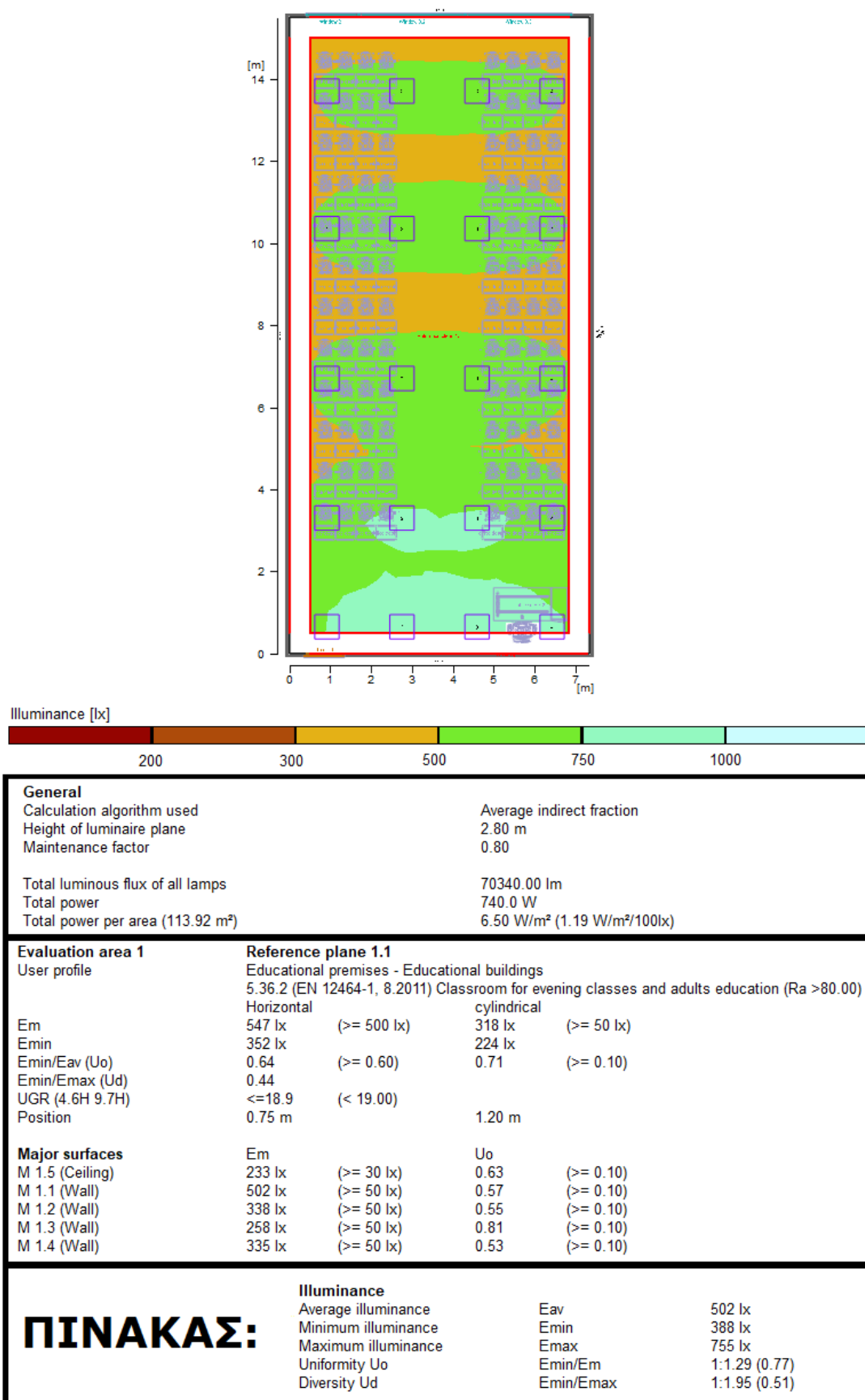
Το τέταρτο φωτιστικό είναι το **Gacrux II Eco MCD 37W 4000K FIX 60x60 (7842106796)** της εταιρείας **Lemvigh-Müller**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 37 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 95.05 lm/W. Έχει διαστάσεις 600 mm x 600 mm x 27 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.9.α και 5.9.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.4.



**Εικόνα 5.9 α)Μορφή Φωτιστικού Gacrux II Eco MCD 37W 4000K FIX 60x60 (7842106796) και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα**

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.10 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 740 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 547 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.64, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 502 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.77. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.9. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης UGR της εγκατάστασης των φωτιστικών (18.9) είναι οριακά αποδεκτός, λαμβάνοντας σχεδόν τη μέγιστη δυνατή τιμή του, σύμφωνα με το πρότυπο. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 4 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.10.



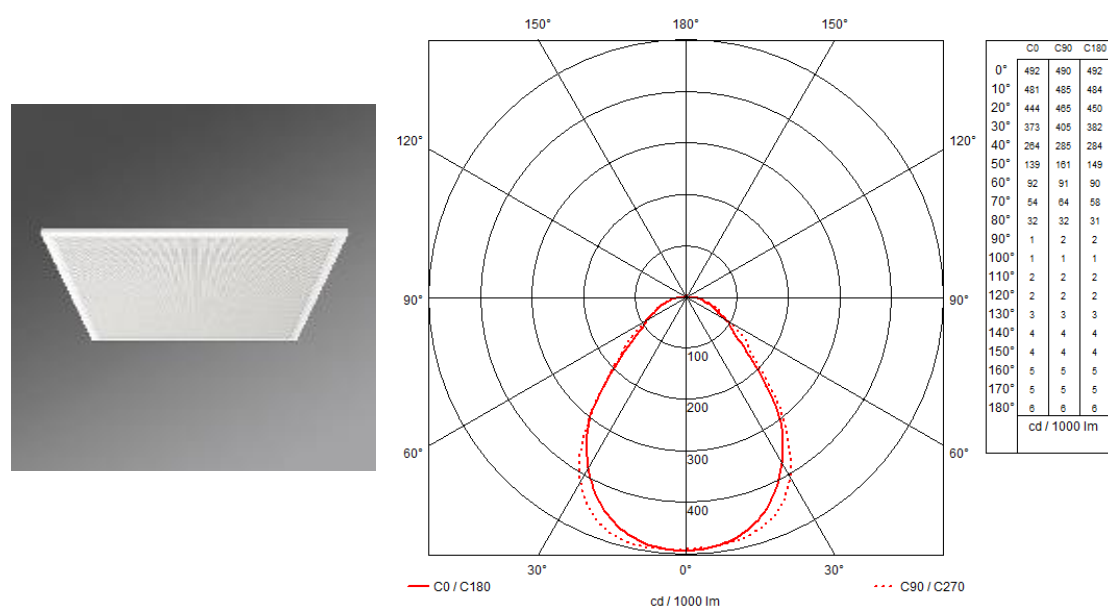


Εικόνα 5.10 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 4 στην αίθουσα 001



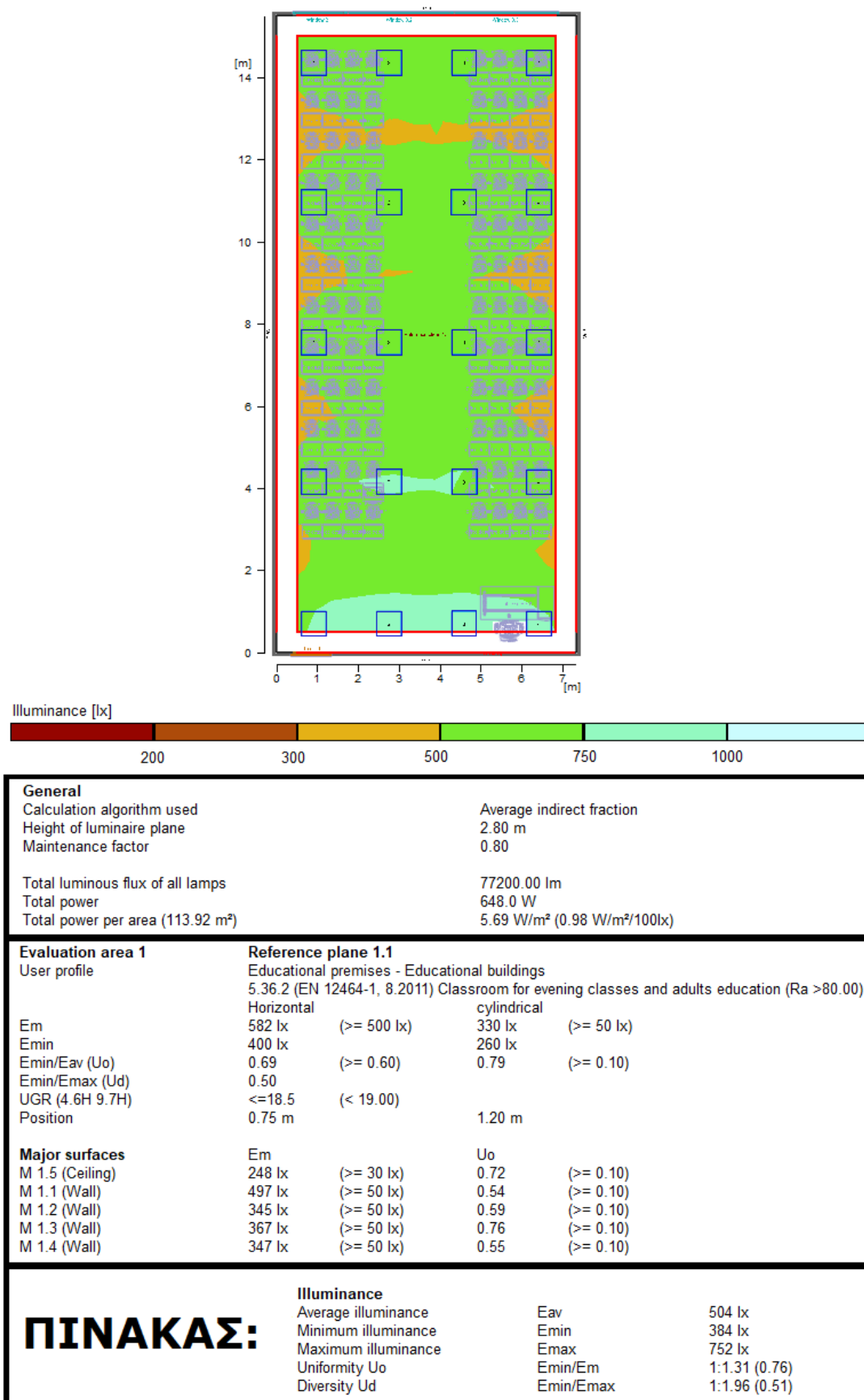
### 5.2.5 Διάταξη 5

Το πέμπτο φωτιστικό είναι το **PEMP/600 LED 3700 32W 840 ET vw (60164034150)** της εταιρείας **Regiolux**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 32.4 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 119.14 lm/W. Έχει διαστάσεις 595 mm x 595 mm x 13 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.11.α και 5.11.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.5.



Εικόνα 5.11 α)Μορφή Φωτιστικού PEMP/600 LED 3700 32W 840 ET vw (60164034150) και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

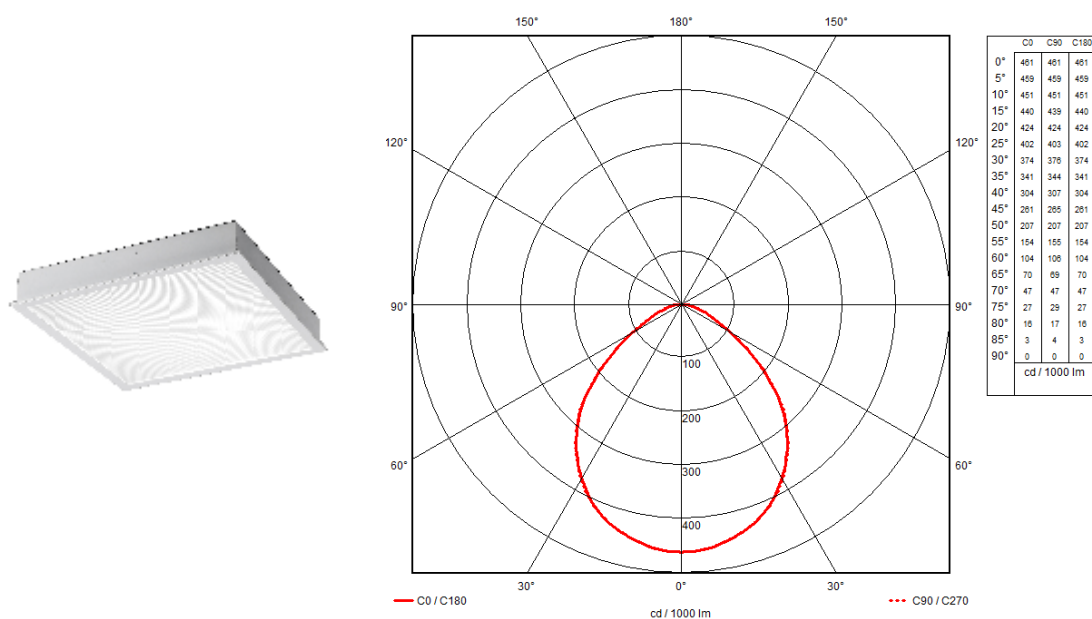
Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.12 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 648 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 582 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.69, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 504 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.76. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.5. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 5 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.12.



Εικόνα 5.12 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 5 στην αίθουσα 001

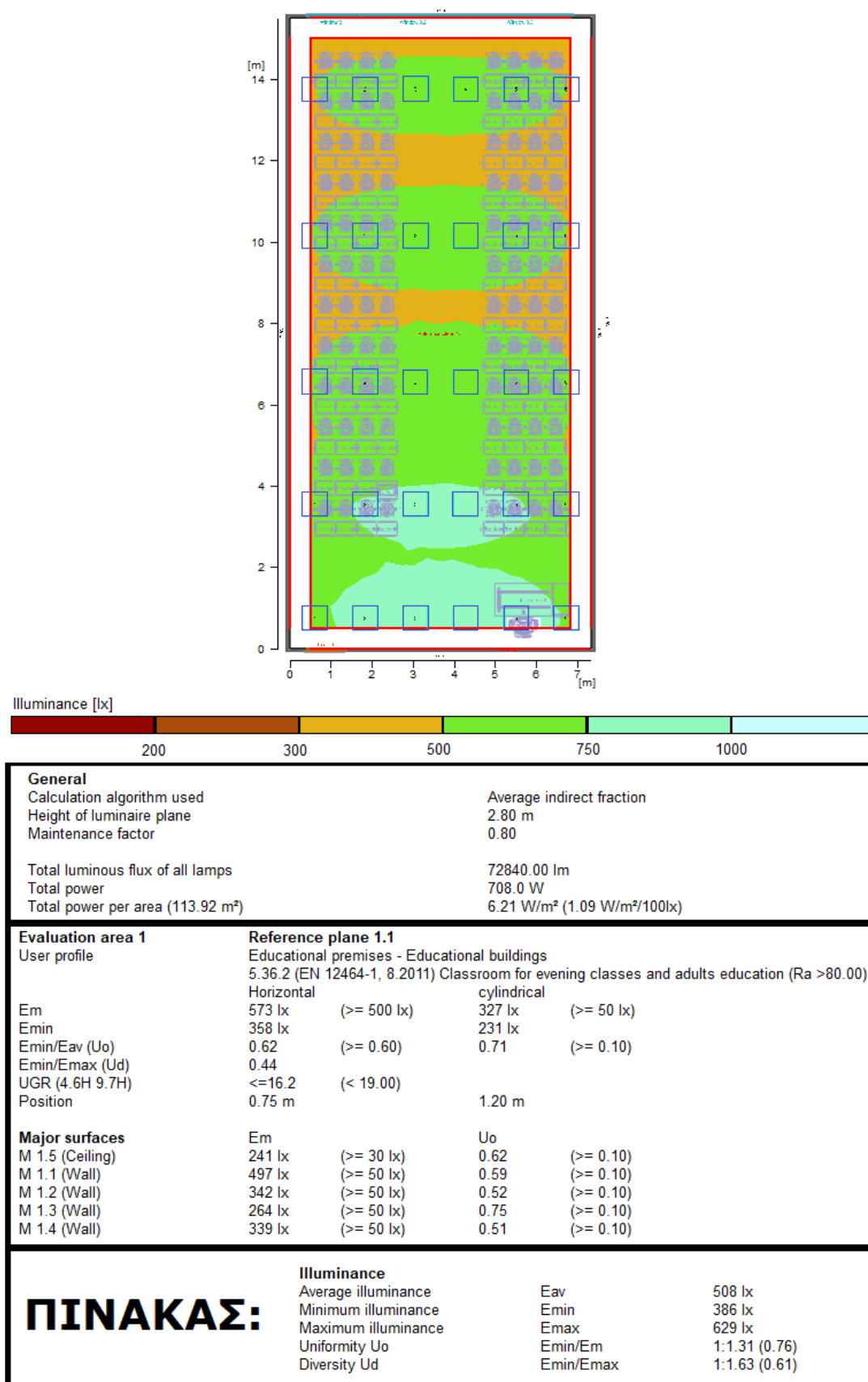
### 5.2.6 Διάταξη 6

Το έκτο φωτιστικό είναι το **TALISKA P TALP66244KZ** της εταιρείας **EATON**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 23.6 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 102.88 lm/W. Έχει διαστάσεις 600 mm x 600 mm x 92 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.13.α και 5.13.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.6.



Εικόνα 5.13 α)Μορφή Φωτιστικού TALISKA P TALP66244KZ και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

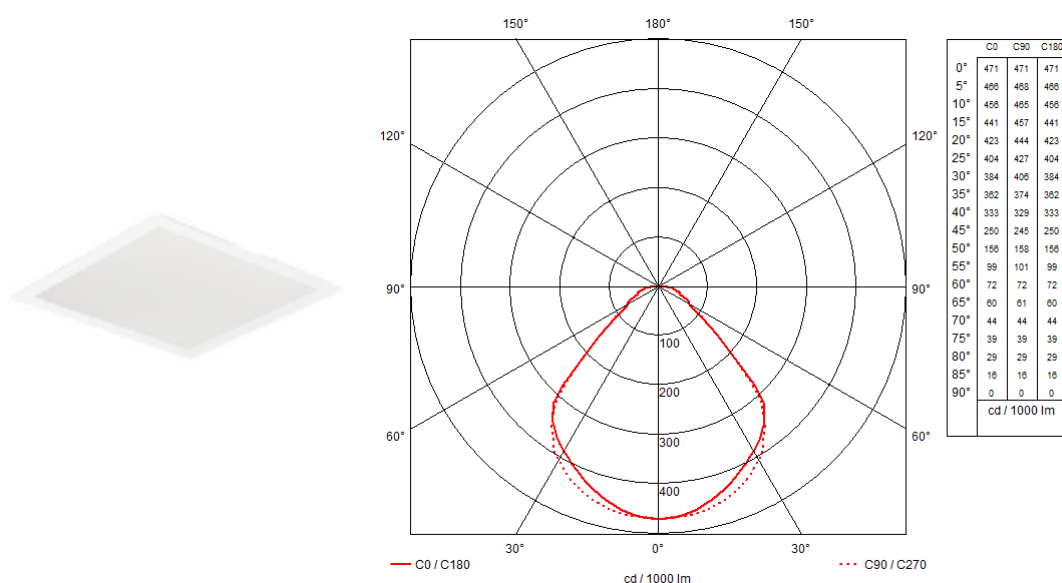
Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 30 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 6 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.14 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 708 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 573 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.62, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 508 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.76. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 16.2. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 6 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.14.



Εικόνα 5.14 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 6 στην αίθουσα 001

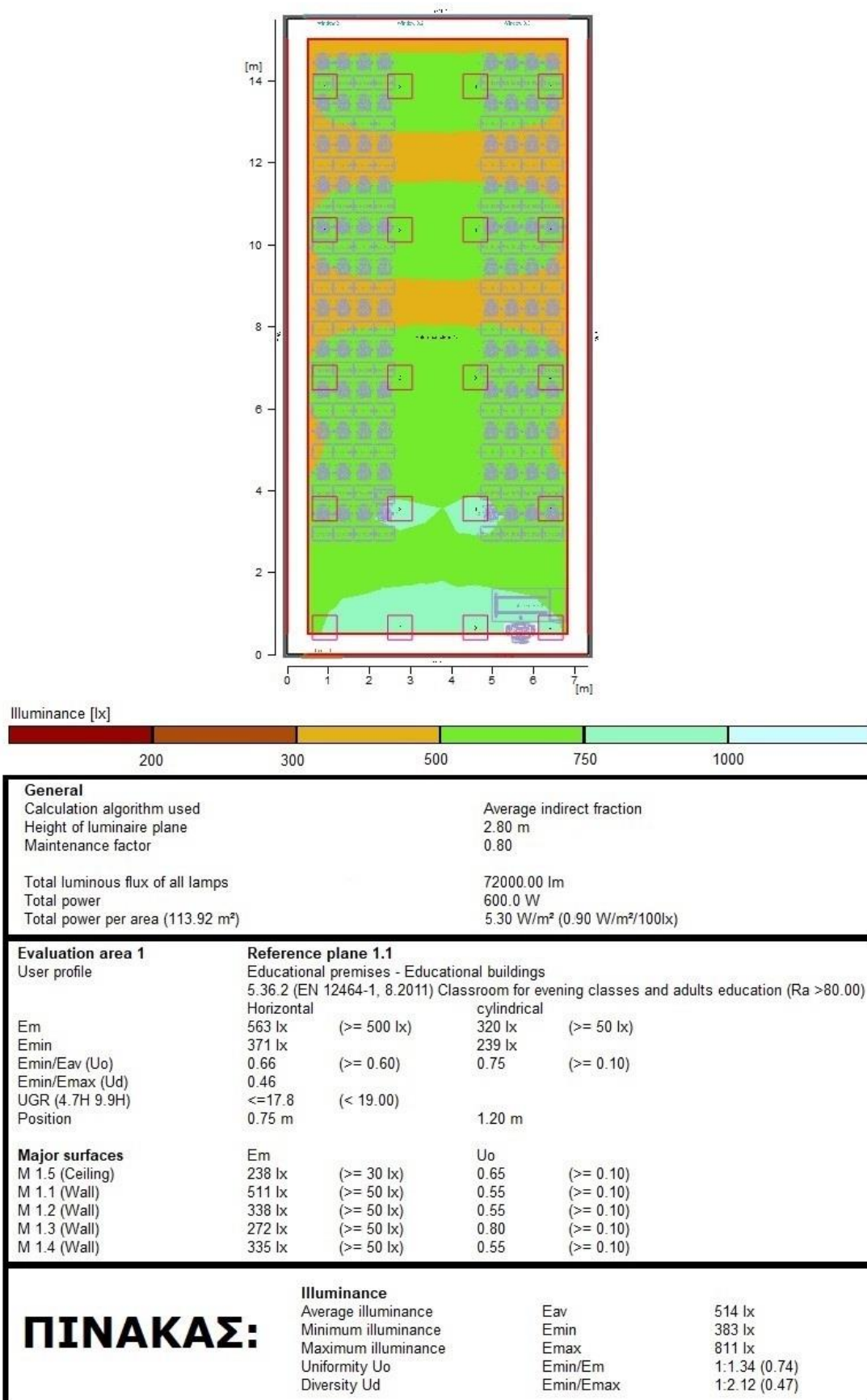
### 5.2.7 Διάταξη 7

Το έβδομο φωτιστικό είναι το **SlimBlend Square SM400C POE W60L60 EL3 EM 1 xLED36S/840** της εταιρείας **Philips**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 30 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 120 lm/W. Έχει διαστάσεις 597 mm x 597 mm x 68 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.15.α και 5.15.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.7.



Εικόνα 5.15 α)Μορφή Φωτιστικού SlimBlend Square SM400C POE W60L60 EL3 EM 1 xLED36S/840 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.16 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 600 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 563 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.66, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 514 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.74. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 17.8. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 7 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.16.

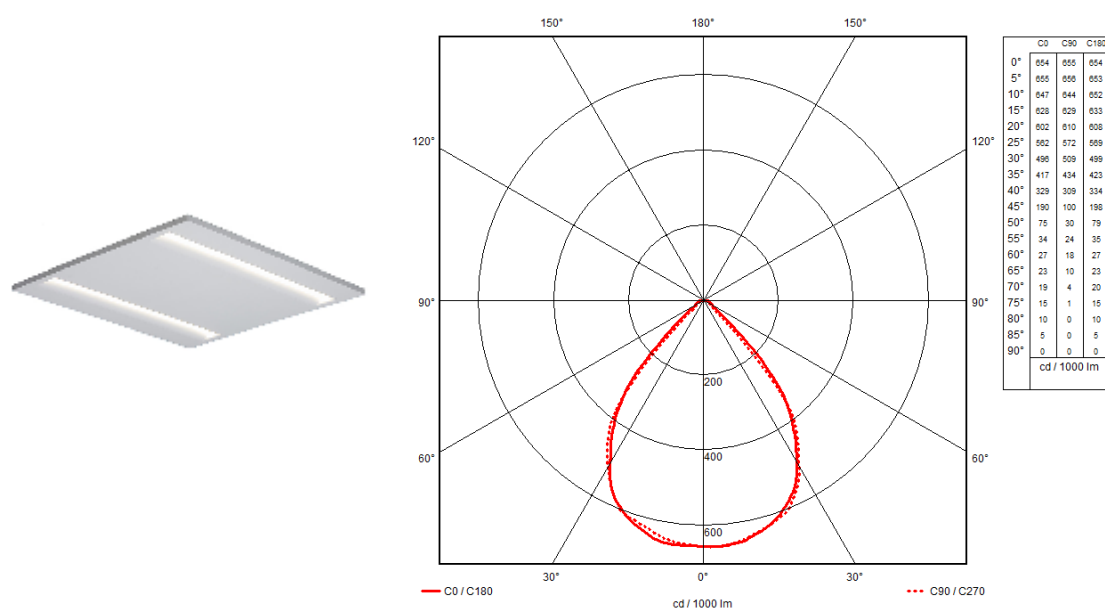


Εικόνα 5.16 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 7 στην αίθουσα 001



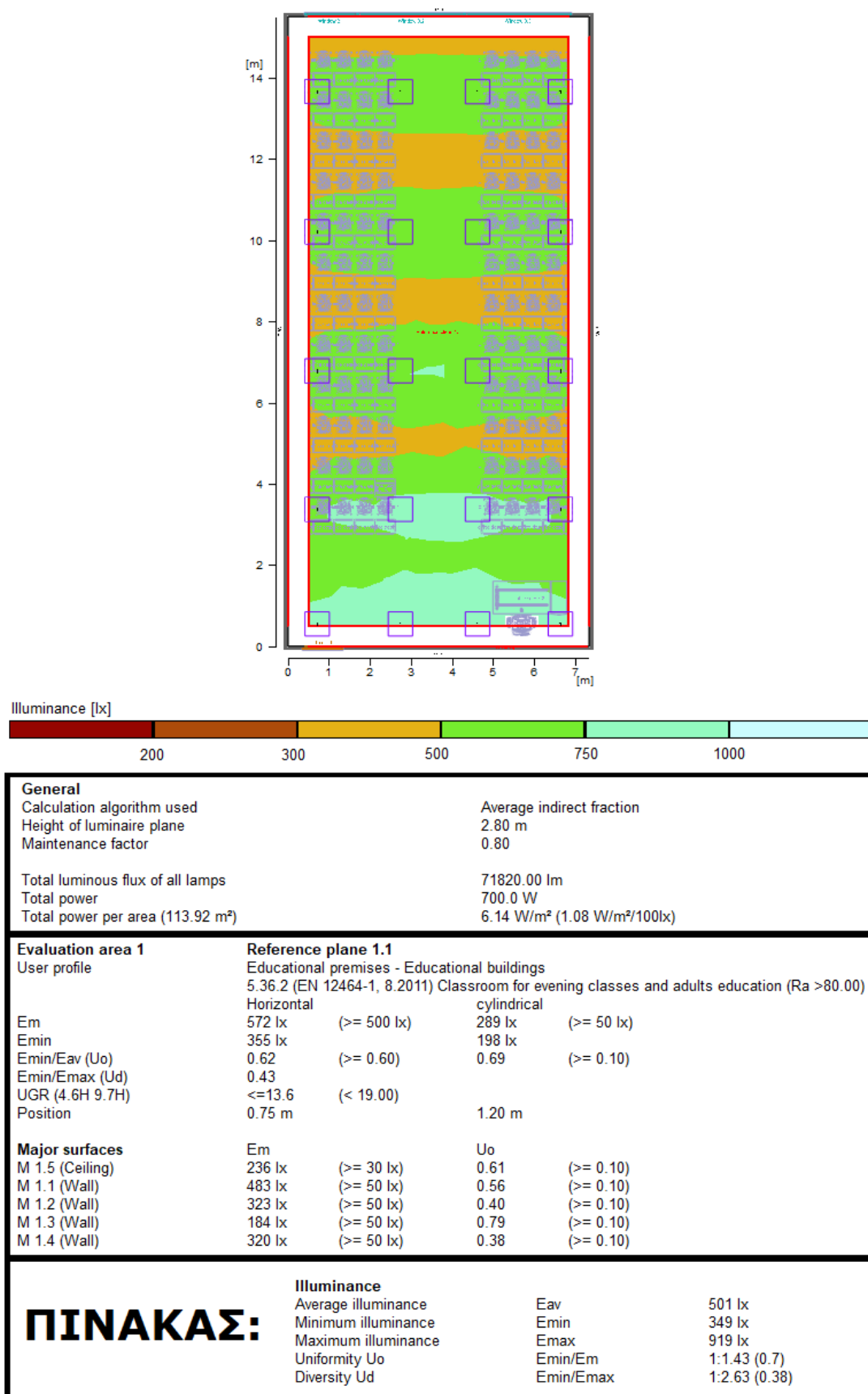
### 5.2.8 Διάταξη 8

Το όγδοο φωτιστικό είναι το **COMMERCIAL - Pluto LED APLULED** της εταιρείας **Ansell**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 35 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 102.6 lm/W. Έχει διαστάσεις 595 mm x 595 mm x 28 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.17.α και 5.17.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.8.



Εικόνα 5.17 α)Μορφή Φωτιστικού COMMERCIAL - Pluto LED APLULED και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.18 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 700 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 572 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.62, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 501 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.70. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 13.6. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο επίπεδο του πίνακα και η αντίστοιχη ομοιομορφία είναι οριακά αποδεκτές, σύμφωνα με το πρότυπο (501 lux και 0.70 αντίστοιχα), λαμβάνοντας ουσιαστικά τις ελάχιστες δυνατές τιμές που επιτρέπονται. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 8 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.18.

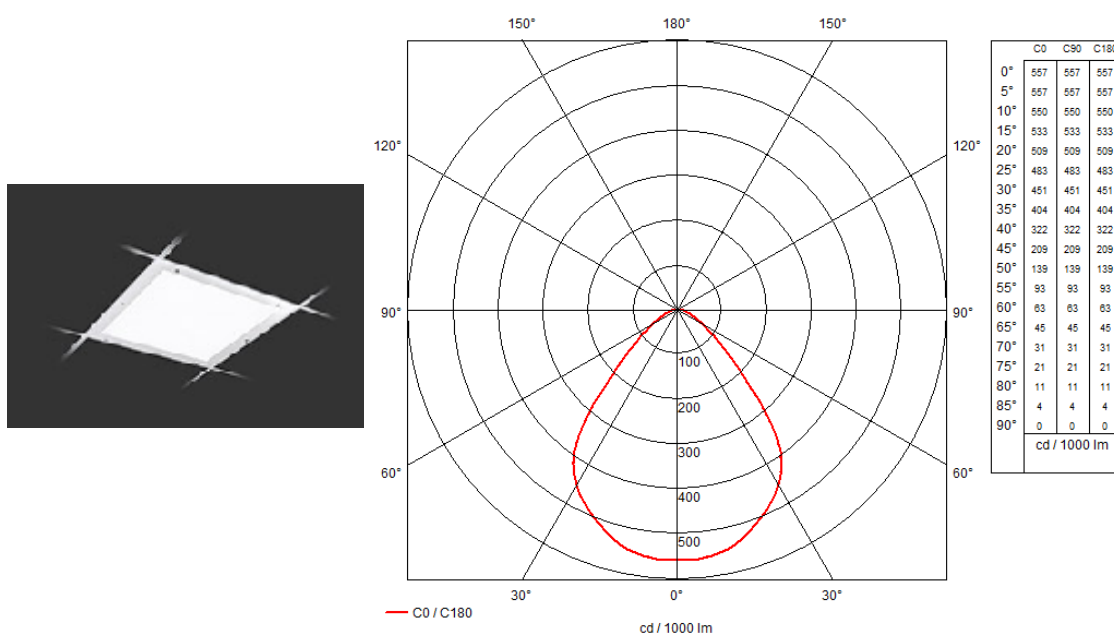


Εικόνα 5.18 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 8 στην αίθουσα 001



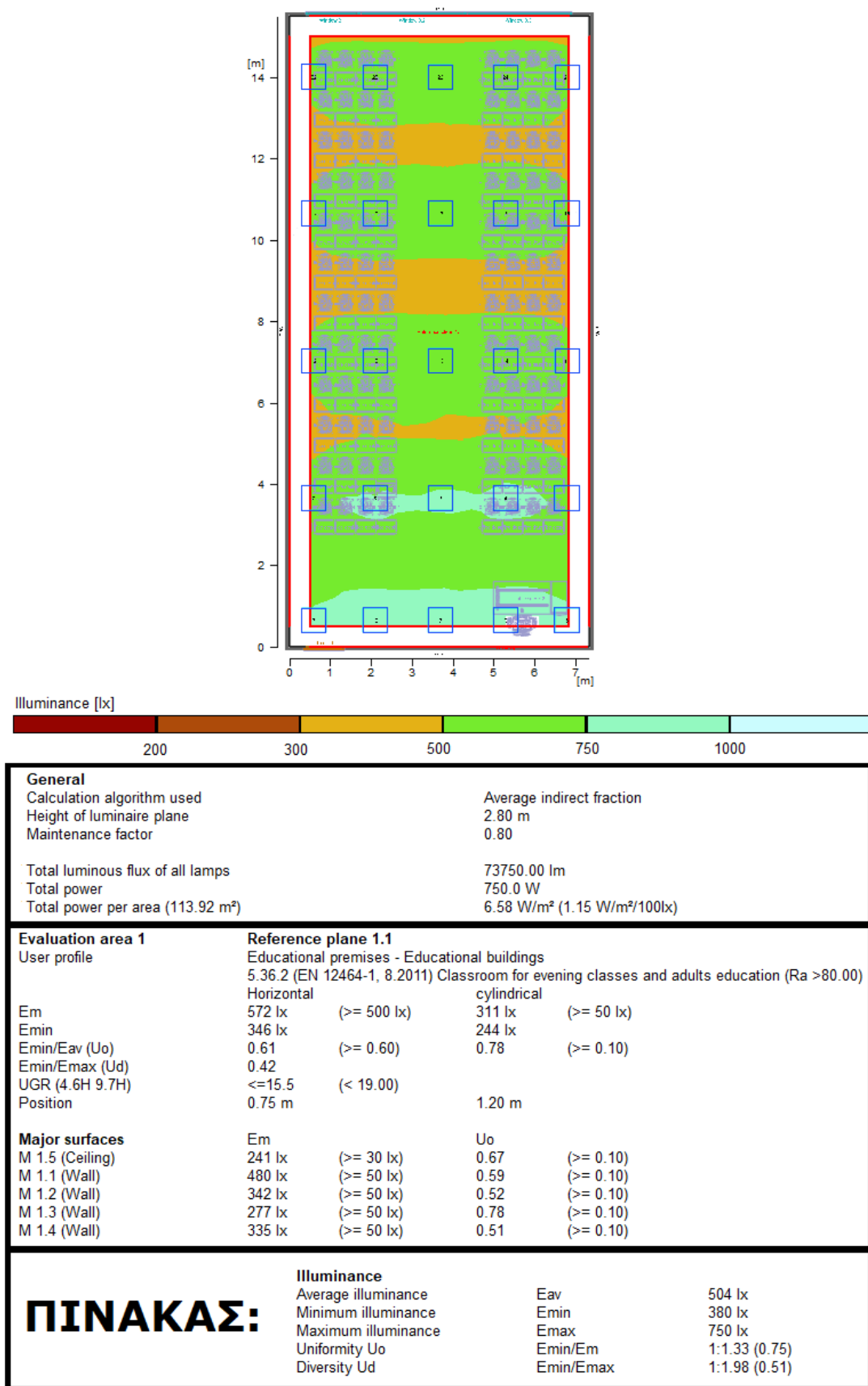
### 5.2.9 Διάταξη 9

Το ένατο φωτιστικό είναι το **Cleanline LED CZ17994** της εταιρείας **Thorlux**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 30 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 98.33 lm/W. Έχει διαστάσεις 597 mm x 597 mm x 101 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.19.α και 5.19.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.9.



Εικόνα 5.19 α)Μορφή Φωτιστικού Cleanline LED CZ17994 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 30 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 6 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.20 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 700 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 572 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.61, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 504 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.75. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 15.5. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 9 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.20.

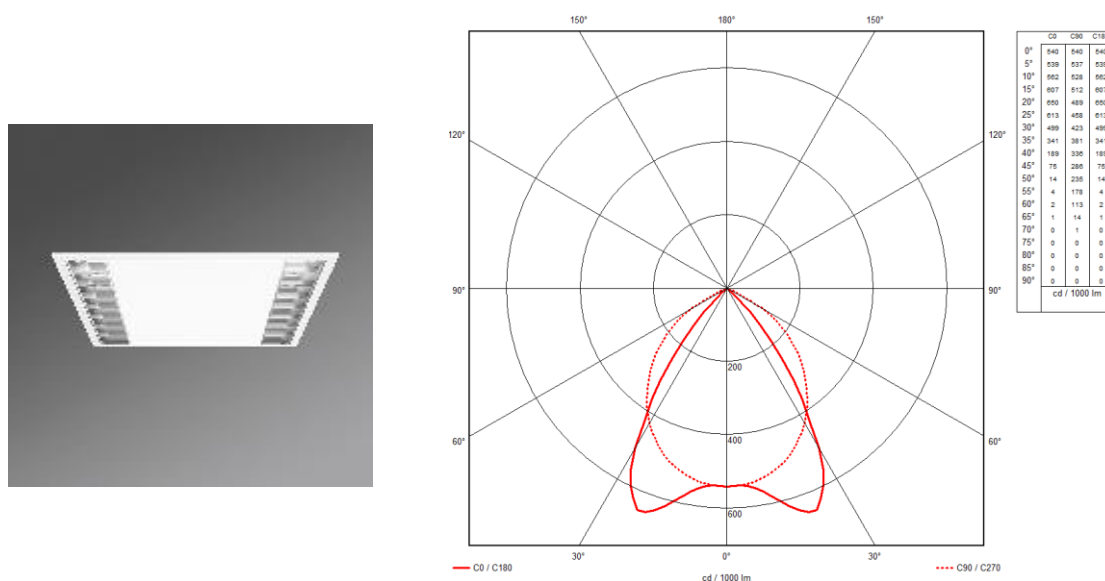


Εικόνα 5.20 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 9 στην αίθουσα 001

## 5.3 Αποτελέσματα αίθουσας 007

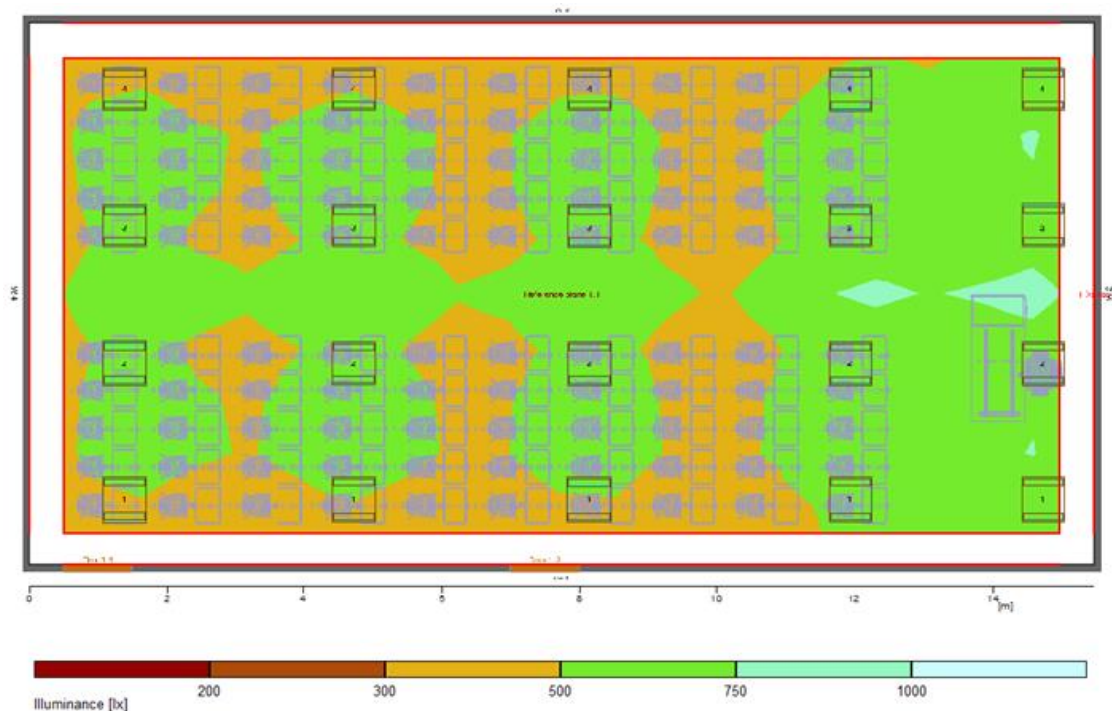
### 5.3.1 Διάταξη 1

Το πρώτο φωτιστικό είναι το **UEX/625 LED-3000 22W 840 ET vw (76020404160)** της εταιρείας **Regiolux**. Είναι φωτιστικό τύπου LED, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 21.7 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 138.8 lm/W. Έχει διαστάσεις 621.5 mm x 621.5 mm x 58 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.21.α και 5.21.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.10.



Εικόνα 5.21 α)Μορφή Φωτιστικού UEX/625 LED-3000 22W 840 ET vw (76020404160) και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.22 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 434 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 519 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.61, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 501 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.78. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 15.6. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο κάθετο επίπεδο του πίνακα και η ομοιομορφία στο οριζόντιο επίπεδο της επιφάνειας εργασίας των εδράνων είναι οριακά αποδεκτές, σύμφωνα με το πρότυπο (501 lux και 0.70 αντίστοιχα), λαμβάνοντας ουσιαστικά τις ελάχιστες δυνατές τιμές που επιτρέπονται. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 1 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.22.

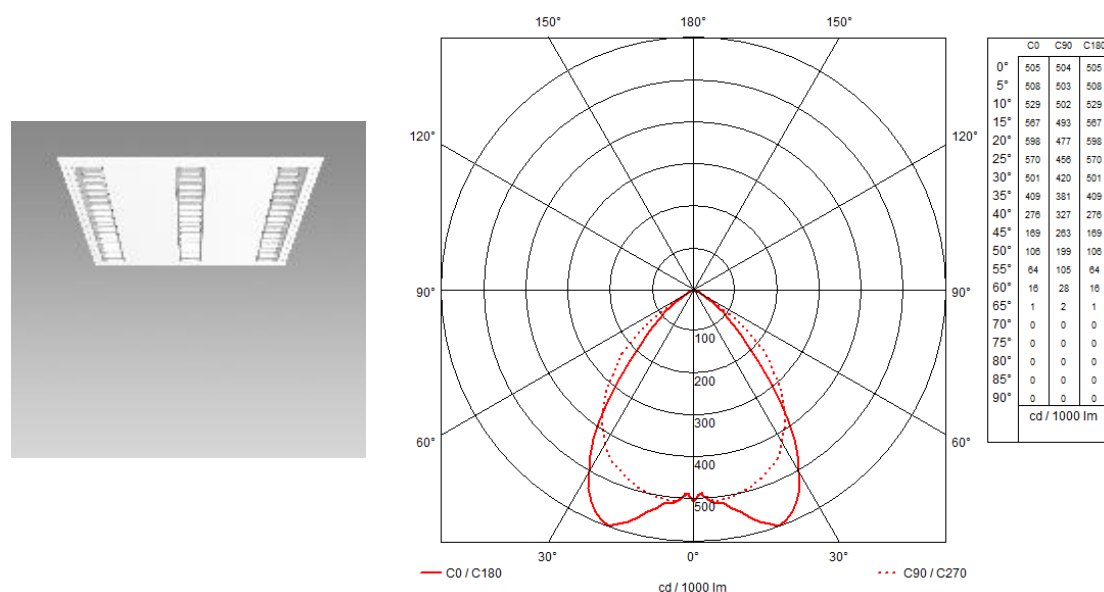


<b>General</b>			
Calculation algorithm used	Average indirect fraction		
Height of luminaire plane	2.90 m		
Maintenance factor	0.80		
Total luminous flux of all lamps	60260.00 lm		
Total power	434.0 W		
Total power per area (122.45 m²)	3.54 W/m² (0.68 W/m²/100lx)		
<b>Evaluation area 1</b>			
User profile	<b>Reference plane 1.1</b>		
	Educational premises - Educational buildings		
	5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00)		
	Horizontal	cylindrical	
Em	519 lx (>= 500 lx)	301 lx (>= 50 lx)	
Emin	314 lx	214 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.61 (>= 0.60)	0.71 (>= 0.10)	
Emin/Emax (Ud)	0.41		
UGR (4.6H 9.1H)	<=15.6 (< 19.00)		
Position	0.75 m	1.20 m	
<b>Major surfaces</b>			
	Em	Uo	
M 1.5 (Ceiling)	282 lx (>= 30 lx)	0.73 (>= 0.10)	
M 1.1 (Wall)	298 lx (>= 50 lx)	0.59 (>= 0.10)	
M 1.2 (Wall)	500 lx (>= 50 lx)	0.62 (>= 0.10)	
M 1.3 (Wall)	301 lx (>= 50 lx)	0.58 (>= 0.10)	
M 1.4 (Wall)	311 lx (>= 50 lx)	0.60 (>= 0.10)	
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>			
<b>Illuminance</b>			
Average illuminance	Eav	501 lx	
Minimum illuminance	Emin	391 lx	
Maximum illuminance	Emax	679 lx	
Uniformity Uo	Emin/Em	1:1.28 (0.78)	
Diversity Ud	Emin/Emax	1:1.74 (0.58)	

Εικόνα 5.22 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 1 στην αίθουσα 007

### 5.3.2 Διάταξη 2

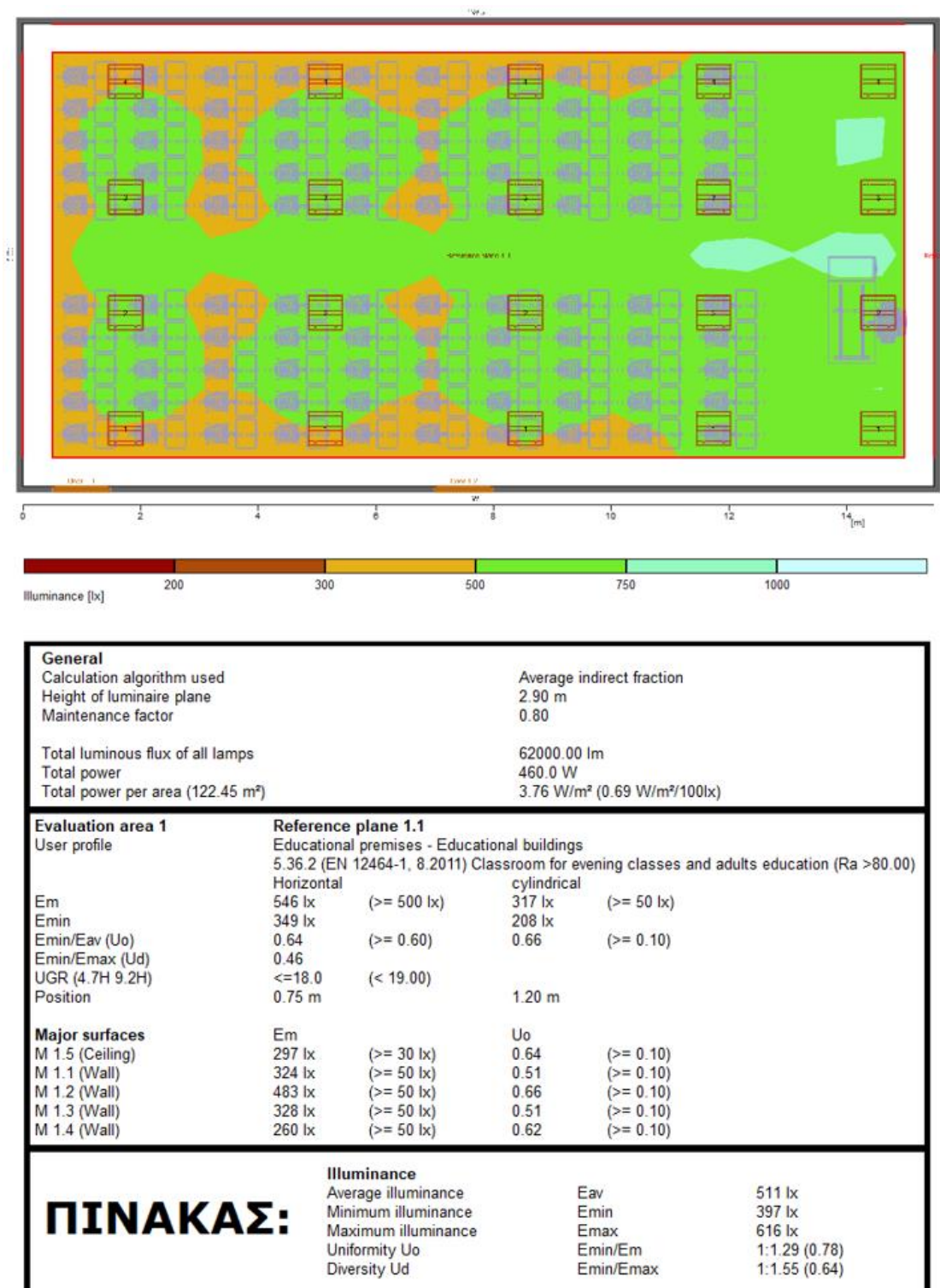
Το δεύτερο φωτιστικό είναι το **GEO 3 2001.4132** της εταιρείας **REGENT**. Είναι φωτιστικό τύπου LED με περσίδες, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 23 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 134.78 lm/W. Έχει διαστάσεις 595 mm x 595 mm x 70 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 3000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.23.α και 5.23.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.11.



Εικόνα 5.23 α)Μορφή Φωτιστικού GEO 3 2001.4132 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.24 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 460 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 546 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.64, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 511 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.78. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 2 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.24.

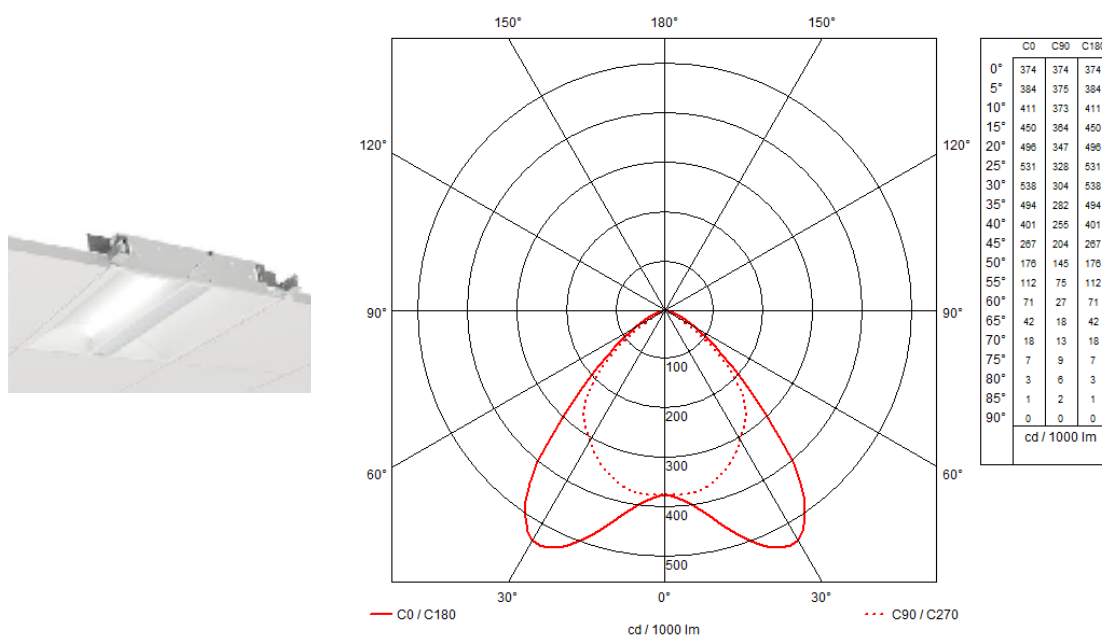




Εικόνα 5.24 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 2 στην αίθουσα 007

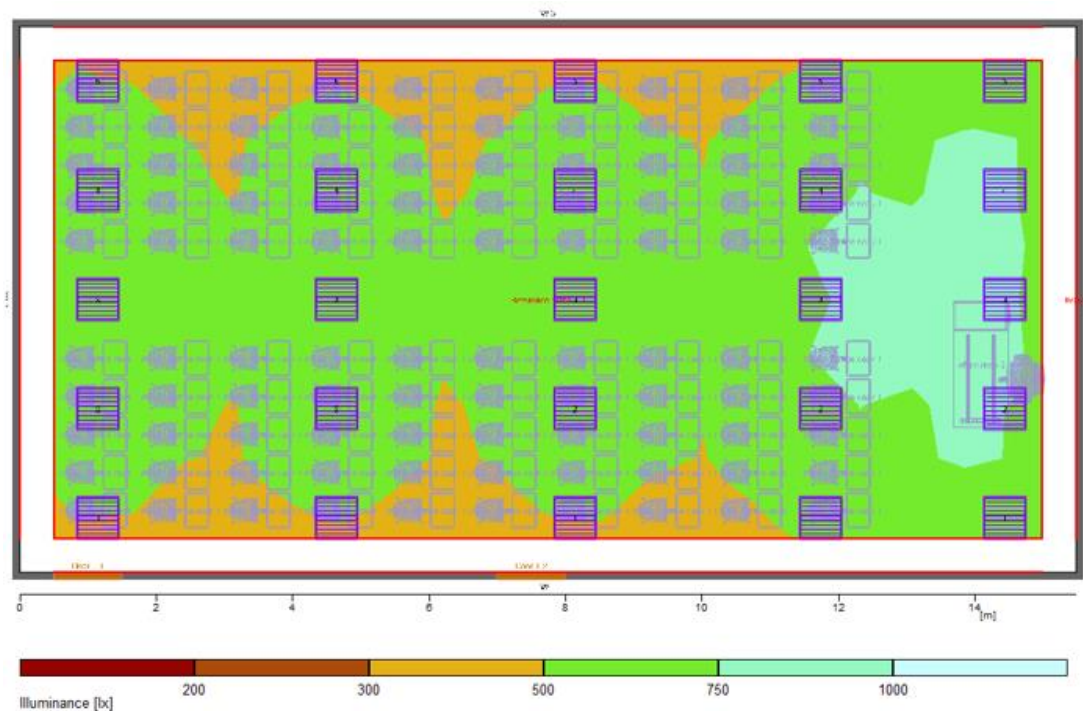
### 5.3.3 Διάταξη 3

Το τρίτο φωτιστικό είναι το **C30-RIC625 G2 LED 2800 830 SU** της εταιρείας **Glamox**. Είναι φωτιστικό τύπου LED, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 23 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 116.75 lm/W. Έχει διαστάσεις 624 mm x 623 mm x 120 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 3000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.25.α και 5.25.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.12.



Εικόνα 5.25 α)Μορφή Φωτιστικού C30-RIC625 G2 LED 2800 830 SU και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 25 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 5 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.26 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 575 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 565 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.65, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 532 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.87. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 14.7. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 3 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.26.



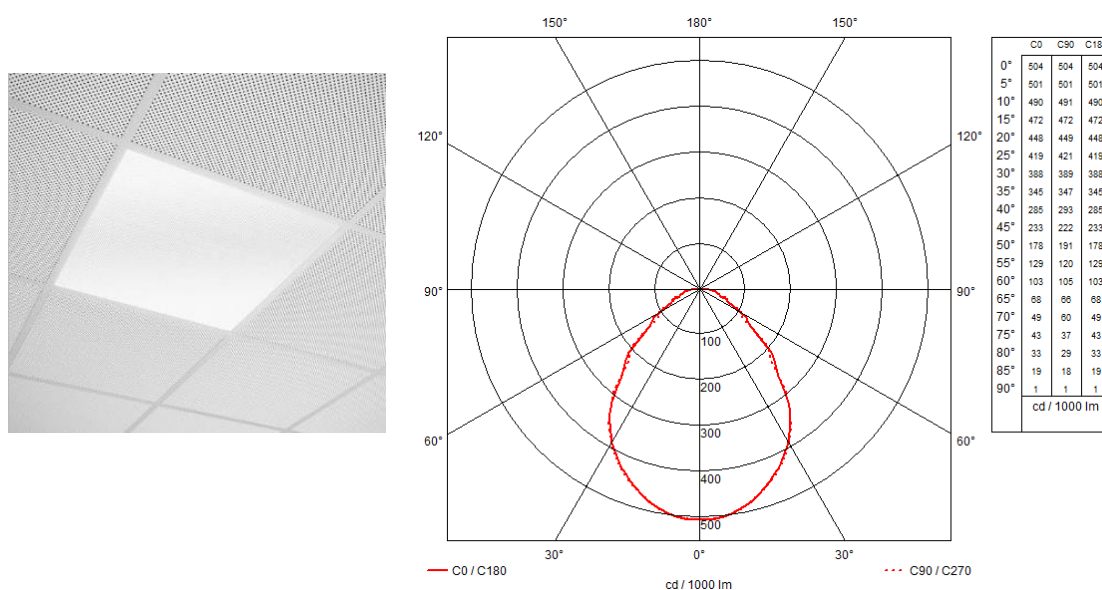
<b>General</b>		Average indirect fraction	
Calculation algorithm used		2.90 m	
Height of luminaire plane		0.80	
Maintenance factor			
Total luminous flux of all lamps		67200.00 lm	
Total power		575.0 W	
Total power per area (122.45 m <sup>2</sup> )		4.70 W/m <sup>2</sup> (0.83 W/m <sup>2</sup> /100lx)	
<b>Evaluation area 1</b>		<b>Reference plane 1.1</b>	
User profile		Educational premises - Educational buildings	
		5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00)	
		Horizontal cylindrical	
Em	565 lx (>= 500 lx)	347 lx (>= 50 lx)	
Emin	365 lx	255 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.65 (>= 0.60)	0.74 (>= 0.10)	
Emin/Emax (Ud)	0.47		
UGR (4.7H 9.1H)	<=14.7 (< 19.00)		
Position	0.75 m	1.20 m	
<b>Major surfaces</b>		<b>Em Uo</b>	
M 1.5 (Ceiling)	312 lx (>= 30 lx)	0.75 (>= 0.10)	
M 1.1 (Wall)	378 lx (>= 50 lx)	0.55 (>= 0.10)	
M 1.2 (Wall)	497 lx (>= 50 lx)	0.76 (>= 0.10)	
M 1.3 (Wall)	382 lx (>= 50 lx)	0.54 (>= 0.10)	
M 1.4 (Wall)	374 lx (>= 50 lx)	0.67 (>= 0.10)	
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>		<b>Illuminance</b>	
		Average illuminance	Eav 532 lx
		Minimum illuminance	Emin 462 lx
		Maximum illuminance	Emax 601 lx
		Uniformity Uo	Emin/Em 1:1.15 (0.87)
		Diversity Ud	Emin/Emax 1:1.3 (0.77)

Εικόνα 5.26 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 3 στην αίθουσα 007



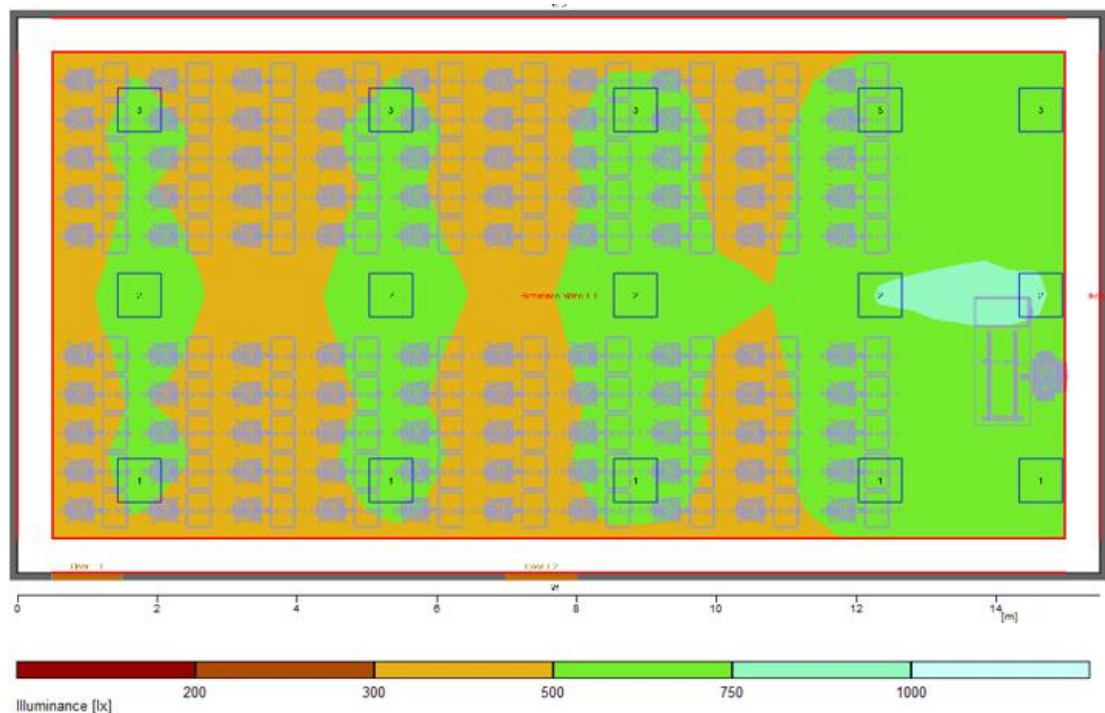
### 5.3.4 Διάταξη 4

Το τέταρτο φωτιστικό είναι το **PLL-ECO 593.0625.30.2** της εταιρείας **LTS**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 32 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 123.44 lm/W. Έχει διαστάσεις 620 mm x 620 mm x 65 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 3000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.27.α και 5.27.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.13.



Εικόνα 5.27 α)Μορφή Φωτιστικού PLL-ECO 593.0625.30.2 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 15 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 3 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.28 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 480 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 507 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.67, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 502 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.82. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.3. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 4 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.28.

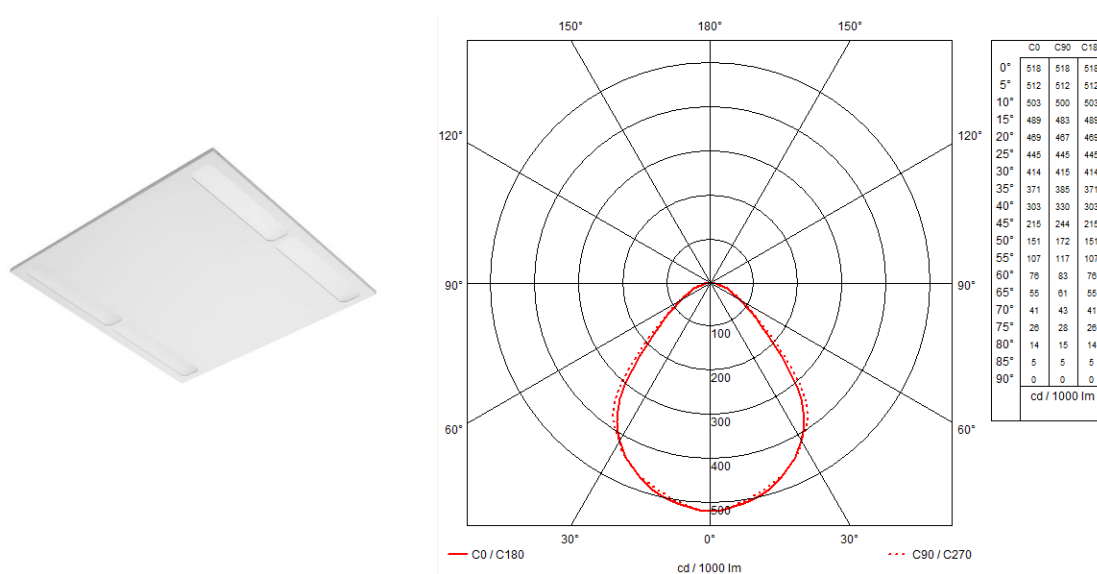


<b>General</b>			
Calculation algorithm used	Average indirect fraction		
Height of luminaire plane	2.90 m		
Maintenance factor	0.80		
Total luminous flux of all lamps	59250.00 lm		
Total power	480.0 W		
Total power per area (122.45 m²)	3.92 W/m² (0.77 W/m²/100lx)		
<b>Evaluation area 1</b>			
User profile	<b>Reference plane 1.1</b>		
	Educational premises - Educational buildings		
	5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00)		
	Horizontal	cylindrical	
Em	507 lx (>= 500 lx)	321 lx (>= 50 lx)	
Emin	339 lx	228 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.67 (>= 0.60)	0.71 (>= 0.10)	
Emin/Emax (Ud)	0.46		
UGR (4.6H 9.1H)	<=18.3 (< 19.00)		
Position	0.75 m	1.20 m	
<b>Major surfaces</b>			
	Em	Uo	
M 1.5 (Ceiling)	285 lx (>= 30 lx)	0.68 (>= 0.10)	
M 1.1 (Wall)	340 lx (>= 50 lx)	0.63 (>= 0.10)	
M 1.2 (Wall)	509 lx (>= 50 lx)	0.76 (>= 0.10)	
M 1.3 (Wall)	344 lx (>= 50 lx)	0.62 (>= 0.10)	
M 1.4 (Wall)	281 lx (>= 50 lx)	0.75 (>= 0.10)	
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>			
<b>Illuminance</b>			
Average illuminance	Eav	502 lx	
Minimum illuminance	Emin	414 lx	
Maximum illuminance	Emax	697 lx	
Uniformity Uo	Emin/Em	1:1.21 (0.82)	
Diversity Ud	Emin/Emax	1:1.68 (0.59)	

Εικόνα 5.28 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 4 στην αίθουσα 007

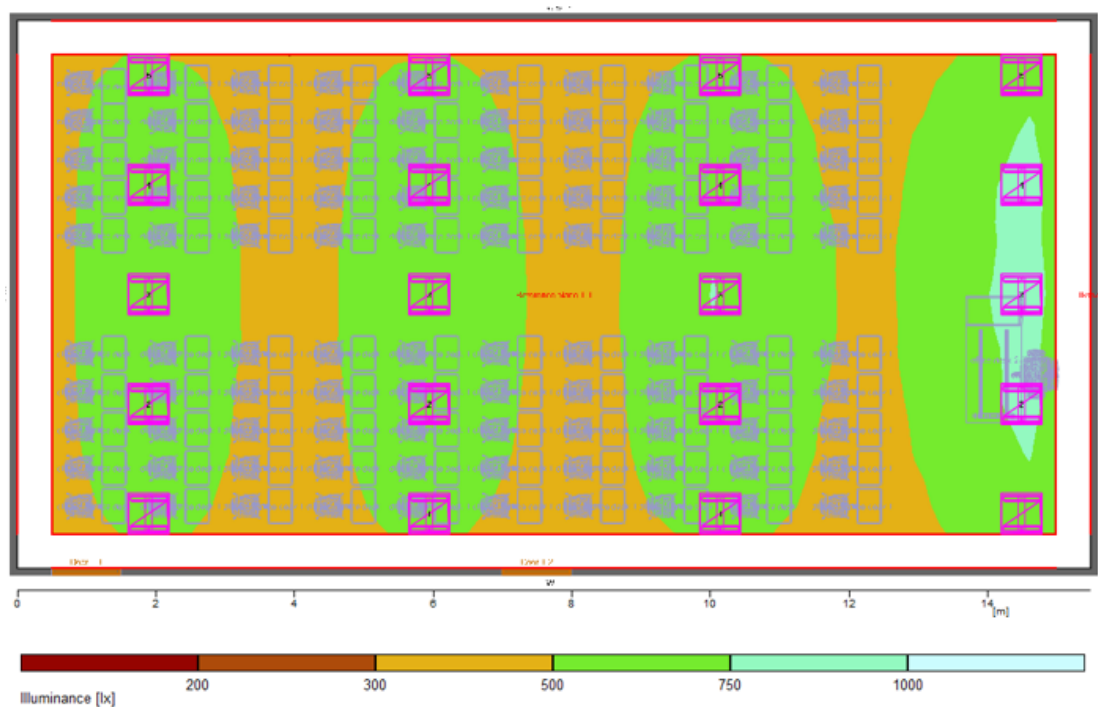
### 5.3.5 Διάταξη 5

Το πέμπτο φωτιστικό είναι το **FREYN II 3100 lm 22W/84 LED 595x595 (7857002254)** της εταιρείας **Lemvigh-Müller**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 22 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 91 lm/W. Έχει διαστάσεις 595 mm x 595 mm x 27 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.29.α και 5.29.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.14.



**Εικόνα 5.29 α)Μορφή Φωτιστικού FREYN II 3100 lm 22W/84 LED 595x595 (7857002254) και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα**

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 4 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 5 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.30 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 440 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 531 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.61, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 535 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.88. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 15.9. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 5 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.30.

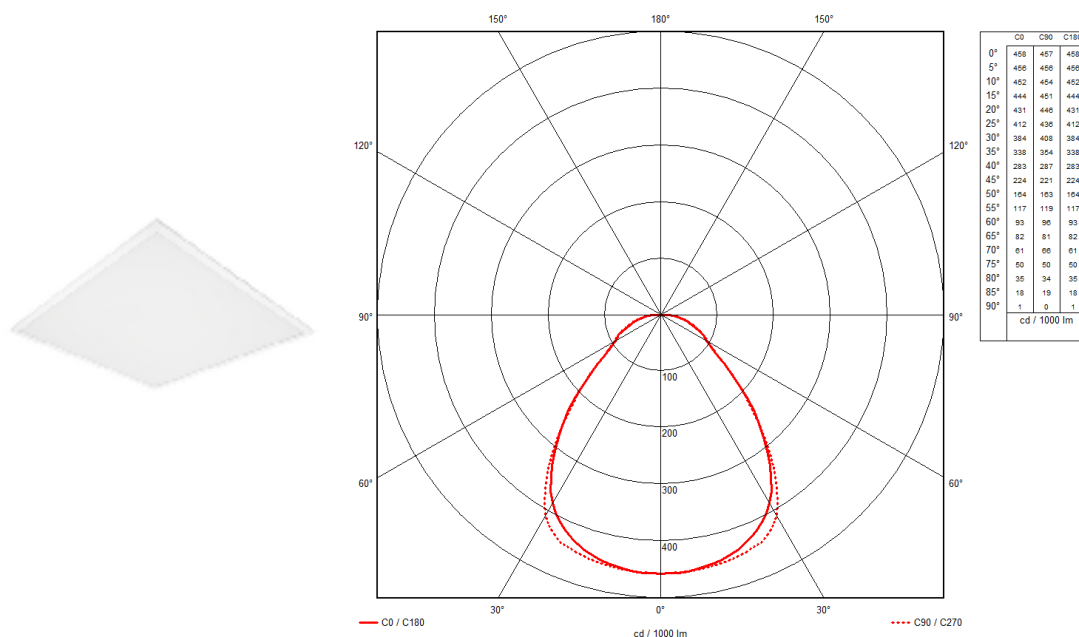


<b>General</b>			
Calculation algorithm used	Average indirect fraction		
Height of luminaire plane	2.90 m		
Maintenance factor	0.80		
Total luminous flux of all lamps		62000.00 lm	
Total power		440.0 W	
Total power per area (122.45 m²)		3.59 W/m² (0.68 W/m²/100lx)	
<b>Evaluation area 1</b>		<b>Reference plane 1.1</b>	
User profile		Educational premises - Educational buildings	
		5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00)	
		Horizontal	cylindrical
Em	531 lx (>= 500 lx)	332 lx (>= 50 lx)	
Emin	323 lx	240 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.61 (>= 0.60)	0.72 (>= 0.10)	
Emin/Emax (Ud)	0.43		
UGR (4.7H 9.2H)	<=15.9 (< 19.00)		
Position	0.75 m	1.20 m	
<b>Major surfaces</b>		Em	Uo
M 1.5 (Ceiling)	302 lx (>= 30 lx)	0.74 (>= 0.10)	
M 1.1 (Wall)	356 lx (>= 50 lx)	0.60 (>= 0.10)	
M 1.2 (Wall)	507 lx (>= 50 lx)	0.82 (>= 0.10)	
M 1.3 (Wall)	359 lx (>= 50 lx)	0.59 (>= 0.10)	
M 1.4 (Wall)	302 lx (>= 50 lx)	0.72 (>= 0.10)	
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>			
<b>Illuminance</b>			
Average illuminance	Eav	535 lx	
Minimum illuminance	Emin	468 lx	
Maximum illuminance	Emax	584 lx	
Uniformity Uo	Emin/Em	1:1.14 (0.88)	
Diversity Ud	Emin/Emax	1:1.25 (0.8)	

Εικόνα 5.30 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 5 στην αίθουσα 007

### 5.3.6 Διάταξη 6

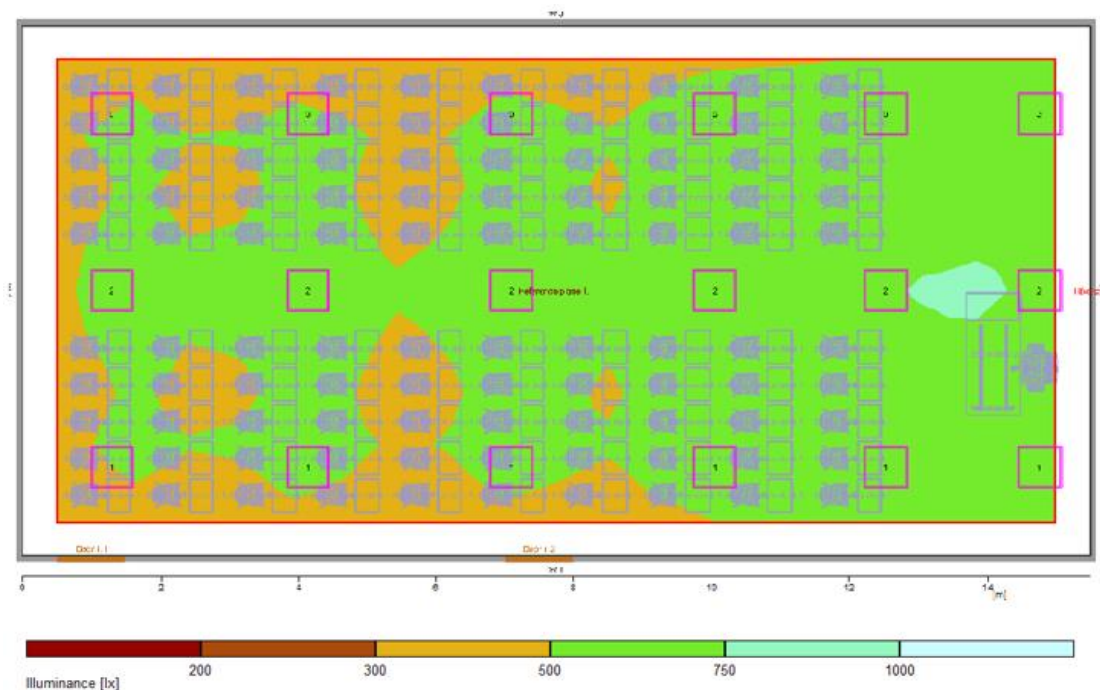
Το έκτο φωτιστικό είναι το **PANEL LED 625 4058075000728** της εταιρείας **LEDVANCE**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 33 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 109.1 lm/W. Έχει διαστάσεις 620 mm x 620 mm x 10.5 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.31.α και 5.31.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.15.



Εικόνα 5.31 α)Μορφή Φωτιστικού PANEL LED 625 4058075000728 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 18 φωτιστικά συνολικά, με 6 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 3 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.32 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 594 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 538 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.74, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 517 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.84. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.7. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 6 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.32.



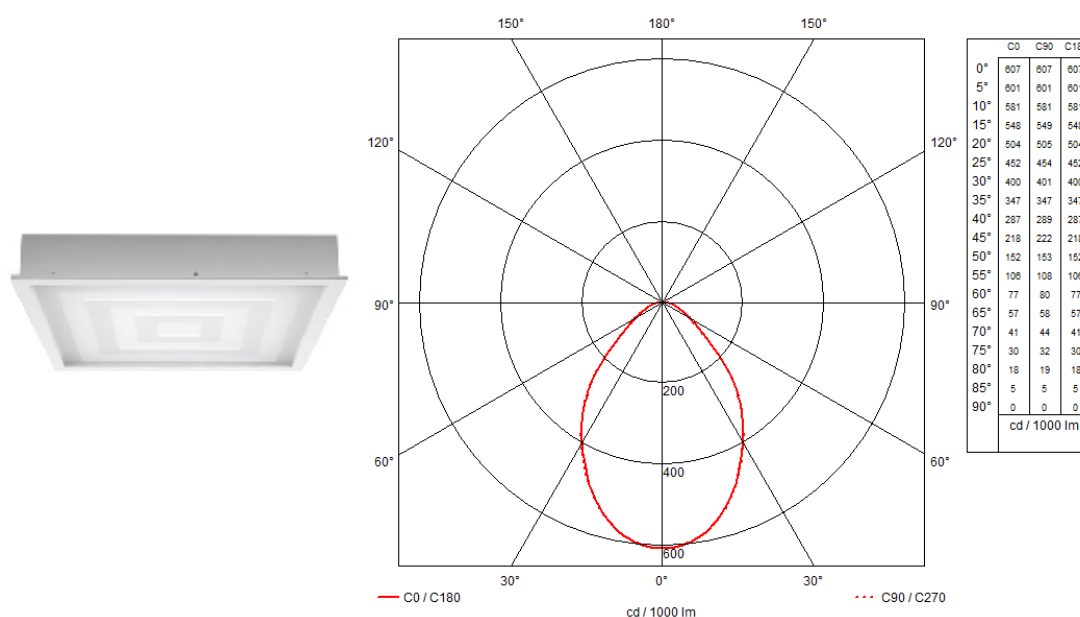


<b>General</b>			
Calculation algorithm used	Average indirect fraction		
Height of luminaire plane	2.90 m		
Maintenance factor	0.80		
Total luminous flux of all lamps	64800.00 lm		
Total power	594.0 W		
Total power per area (122.45 m²)	4.85 W/m² (0.90 W/m²/100lx)		
<b>Evaluation area 1</b>			
User profile	<b>Reference plane 1.1</b>		
	Educational premises - Educational buildings		
	5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00)		
	Horizontal	cylindrical	
Em	538 lx	(≥ 500 lx)	341 lx (≥ 50 lx)
Emin	400 lx		243 lx
Emin/Eav (Uo)	0.74	(≥ 0.60)	0.71 (≥ 0.10)
Emin/Emax (Ud)	0.54		
UGR (4.7H 9.2H)	≤18.7	( $< 19.00$ )	
Position	0.75 m		1.20 m
<b>Major surfaces</b>			
	Em		Uo
M 1.5 (Ceiling)	300 lx	(≥ 30 lx)	0.71 (≥ 0.10)
M 1.1 (Wall)	363 lx	(≥ 50 lx)	0.67 (≥ 0.10)
M 1.2 (Wall)	529 lx	(≥ 50 lx)	0.75 (≥ 0.10)
M 1.3 (Wall)	366 lx	(≥ 50 lx)	0.66 (≥ 0.10)
M 1.4 (Wall)	334 lx	(≥ 50 lx)	0.75 (≥ 0.10)
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>			
<b>Illuminance</b>			
Average illuminance	Eav		517 lx
Minimum illuminance	Emin		435 lx
Maximum illuminance	Emax		751 lx
Uniformity Uo	Emin/Em		1:1.19 (0.84)
Diversity Ud	Emin/Emax		1:1.73 (0.58)

Εικόνα 5.32 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 6 στην αίθουσα 007

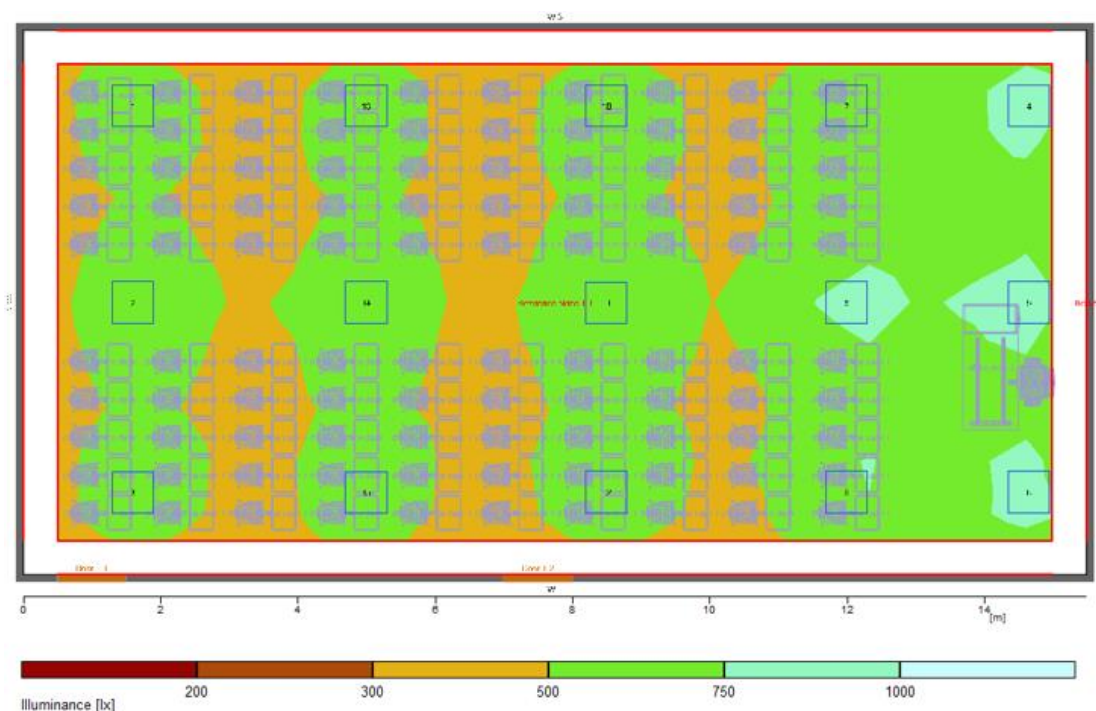
### 5.3.7 Διάταξη 7

Το έβδομο φωτιστικό είναι το **CORNELL CNL66444KZ** της εταιρείας **EATON**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 39.6 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 109.52 lm/W. Έχει διαστάσεις 600 mm x 600 mm x 92 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.33.α και 5.33.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.16.



Εικόνα 5.33 α)Μορφή Φωτιστικού CORNELL CNL66444KZ και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 15 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 3 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.34 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 594 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 545 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.70, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 503 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.80. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 17.7. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 7 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.34.



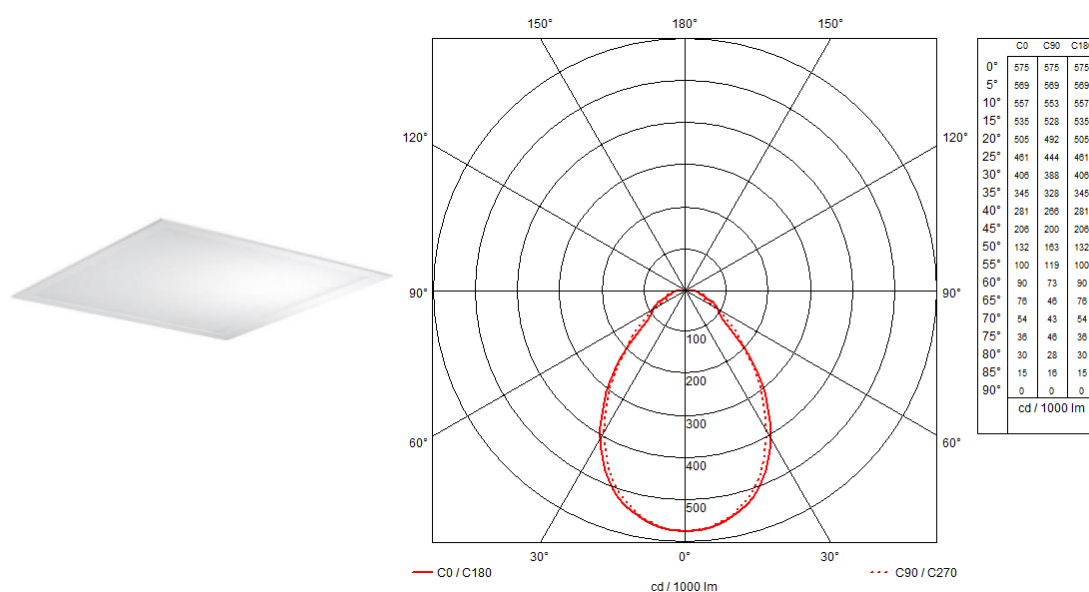
<b>General</b>			
Calculation algorithm used	Average indirect fraction		
Height of luminaire plane	2.90 m		
Maintenance factor	0.80		
Total luminous flux of all lamps	65055.00 lm		
Total power	594.0 W		
Total power per area (122.45 m²)	4.85 W/m² (0.89 W/m²/100lx)		
<b>Evaluation area 1</b>			
User profile	<b>Reference plane 1.1</b>		
	Educational premises - Educational buildings		
	5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00)		
	Horizontal	cylindrical	
Em	545 lx (>= 500 lx)	334 lx (>= 50 lx)	
Emin	383 lx	259 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.70 (>= 0.60)	0.78 (>= 0.10)	
Emin/Emax (Ud)	0.47		
UGR (4.6H 9.1H)	<=17.7 (< 19.00)		
Position	0.75 m	1.20 m	
<b>Major surfaces</b>			
	Em	Uo	
M 1.5 (Ceiling)	299 lx (>= 30 lx)	0.71 (>= 0.10)	
M 1.1 (Wall)	362 lx (>= 50 lx)	0.62 (>= 0.10)	
M 1.2 (Wall)	520 lx (>= 50 lx)	0.72 (>= 0.10)	
M 1.3 (Wall)	376 lx (>= 50 lx)	0.59 (>= 0.10)	
M 1.4 (Wall)	314 lx (>= 50 lx)	0.75 (>= 0.10)	
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>			
<b>Illuminance</b>			
Average illuminance	Eav	503 lx	
Minimum illuminance	Emin	403 lx	
Maximum illuminance	Emax	723 lx	
Uniformity Uo	Emin/Em	1:1.25 (0.8)	
Diversity Ud	Emin/Emax	1:1.79 (0.56)	

Εικόνα 5.34 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 7 στην αίθουσα 007



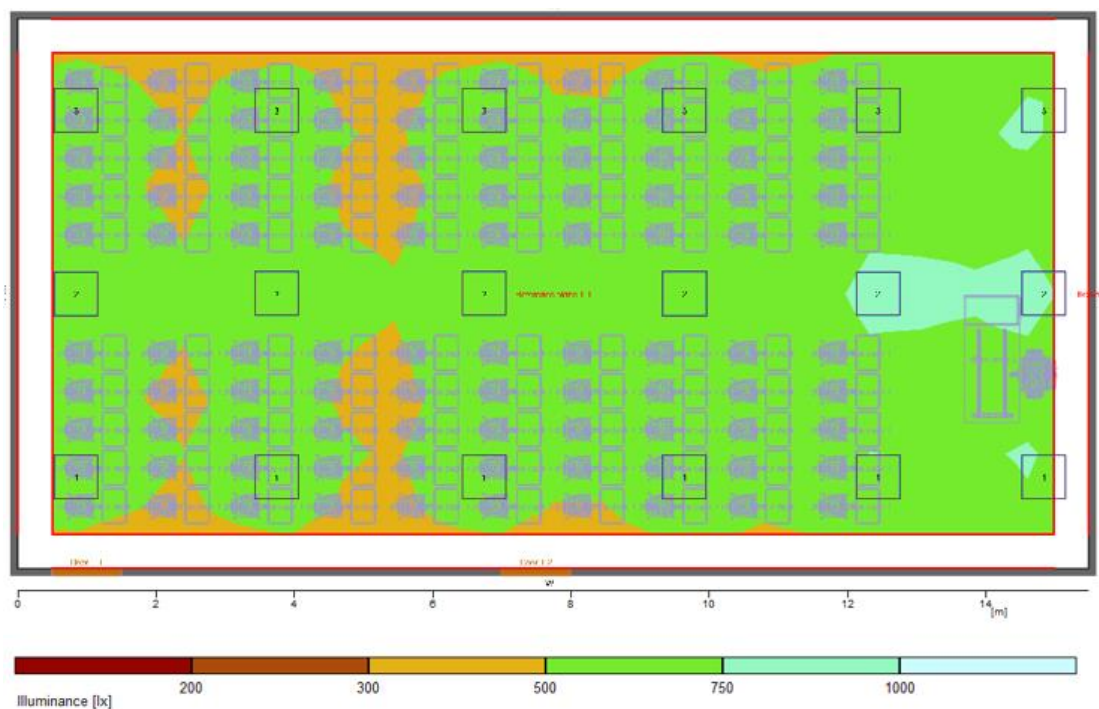
### 5.3.8 Διάταξη 8

Το όγδοο φωτιστικό είναι το **APOLLON® 0MQ111723W1** της εταιρείας **OSRAM**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 36.3 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 104.96 lm/W. Έχει διαστάσεις 625 mm x 625 mm x 26 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 3000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.35.α και 5.35.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.17.



Εικόνα 5.35 α)Μορφή Φωτιστικού APOLLON® 0MQ111723W1 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 18 φωτιστικά συνολικά, με 6 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 3 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.36 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 653.4 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 569 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.71, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 526 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.84. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 18.5. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 8 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.36.

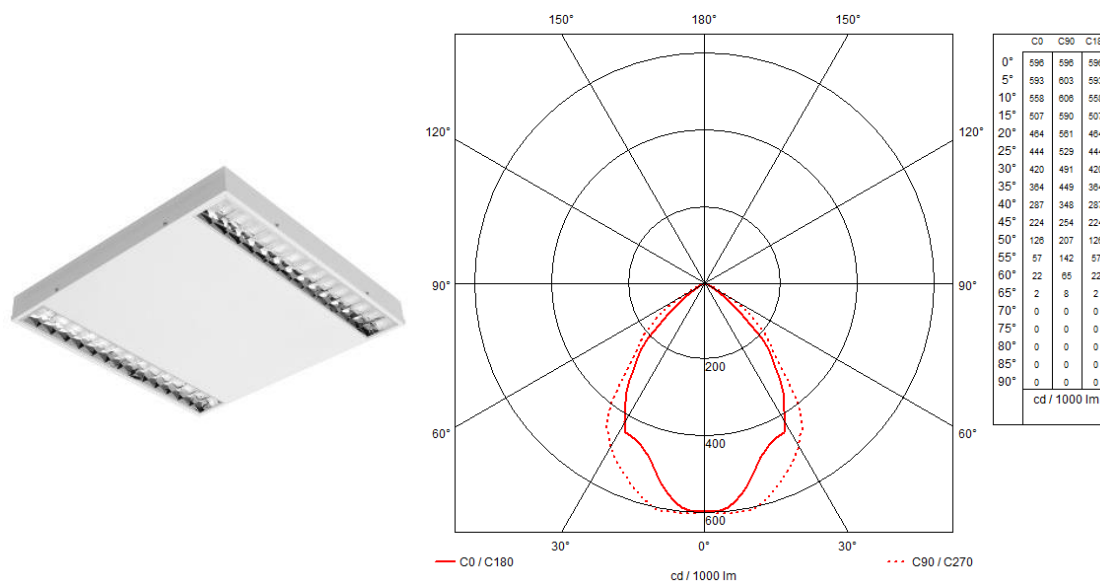


<b>General</b>			
Calculation algorithm used	Average indirect fraction		
Height of luminaire plane	2.90 m		
Maintenance factor	0.80		
Total luminous flux of all lamps	68580.00 lm		
Total power	653.4 W		
Total power per area (122.45 m²)	5.34 W/m² (0.94 W/m²/100lx)		
<b>Evaluation area 1</b>			
User profile	<b>Reference plane 1.1</b> Educational premises - Educational buildings 5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00) Horizontal cylindrical 569 lx (>= 500 lx) 354 lx (>= 50 lx) Emin 404 lx 267 lx Emin/Eav (Uo) 0.71 (>= 0.60) 0.75 (>= 0.10) Emin/Emax (Ud) 0.53 UGR (4.6H 9.1H) <=18.5 (< 19.00) Position 0.75 m 1.20 m		
<b>Major surfaces</b>			
M 1.5 (Ceiling)	Em 316 lx (>= 30 lx)	Uo 0.71	(>= 0.10)
M 1.1 (Wall)	374 lx (>= 50 lx)	0.70	(>= 0.10)
M 1.2 (Wall)	544 lx (>= 50 lx)	0.74	(>= 0.10)
M 1.3 (Wall)	376 lx (>= 50 lx)	0.69	(>= 0.10)
M 1.4 (Wall)	394 lx (>= 50 lx)	0.74	(>= 0.10)
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>			
<b>Illuminance</b>			
Average illuminance	Eav	526 lx	
Minimum illuminance	Emin	441 lx	
Maximum illuminance	Emax	788 lx	
Uniformity Uo	Emin/Em	1:1.19 (0.84)	
Diversity Ud	Emin/Emax	1:1.79 (0.56)	

Εικόνα 5.36 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 8 στην αίθουσα 007

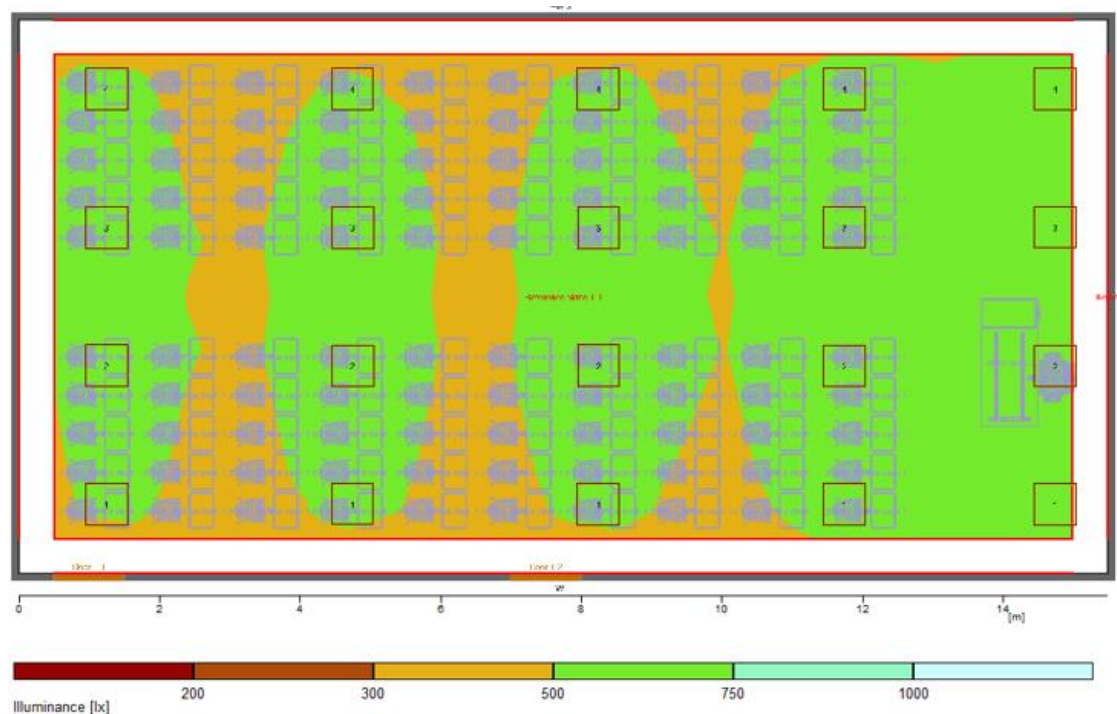
### 5.3.9 Διάταξη 9

Το ένατο φωτιστικό είναι το **ASTRID 60x60 GWS2606** της εταιρείας **GEWISS**. Είναι φωτιστικό τύπου LED panel, χωνευτό σε οροφή, ισχύος 28 W, έχει τετράγωνο σχήμα και η απόδοσή του είναι 110.71 lm/W. Έχει διαστάσεις 595 mm x 595 mm x 10.5 mm. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτιστικού είναι 80 και η θερμοκρασία του είναι 4000 K. Παρακάτω παρουσιάζεται η φωτογραφία του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.37.α και 5.37.β), ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού παρουσιάζονται στο Παράρτημα Π.18.



Εικόνα 5.37 α)Μορφή Φωτιστικού ASTRID 60x60 GWS2606 και β)αντίστοιχο πολικό διάγραμμα

Στην προσομοίωση τοποθετήθηκαν 20 φωτιστικά συνολικά, με 5 σειρές παράλληλες στο επίπεδο του πίνακα από 4 φωτιστικά η καθεμία. Η διάταξή τους παρουσιάζεται στην εικόνα 5.38 της επόμενης σελίδας, στην οποία παρατίθενται και τα αποτελέσματα των υπό μελέτη μεγεθών. Η συνολική ισχύς που καταναλώνουν τα φωτιστικά είναι 560 W. Η μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο οριζόντιο επίπεδο των εδράνων είναι 531 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.68, ενώ πάνω από το επιθυμητό όριο είναι και οι τιμές για τα αντίστοιχα μεγέθη στους τοίχους και στην οροφή. Στο επίπεδο του πίνακα αποδίδεται μέση ένταση φωτισμού 513 lux, με αντίστοιχη ομοιομορφία 0.83. Ο δείκτης θάμβωσης (UGR) της εγκατάστασης είναι μικρότερος ή ίσος από 14.8. Οι προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1 ικανοποιούνται, λοιπόν, πλήρως για την αίθουσα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την διάταξη 9 παρουσιάζονται στην εικόνα 5.38.



<b>General</b>		Average indirect fraction	
Calculation algorithm used		2.90 m	
Height of luminaire plane		0.80	
Maintenance factor			
Total luminous flux of all lamps		62000.00 lm	
Total power		560.0 W	
Total power per area (122.45 m <sup>2</sup> )		4.57 W/m <sup>2</sup> (0.86 W/m <sup>2</sup> /100lx)	
<b>Evaluation area 1</b>		<b>Reference plane 1.1</b>	
User profile		Educational premises - Educational buildings	
		5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Classroom for evening classes and adults education (Ra >80.00)	
		Horizontal cylindrical	
Em	531 lx (>= 500 lx)	310 lx (>= 50 lx)	
Emin	362 lx	227 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.68 (>= 0.60)	0.73 (>= 0.10)	
Emin/Emax (Ud)	0.51		
UGR (4.6H 9.1H)	<=14.8 (< 19.00)		
Position	0.75 m	1.20 m	
<b>Major surfaces</b>		<b>Uo</b>	
M 1.5 (Ceiling)	289 lx (>= 30 lx)	0.74 (>= 0.10)	
M 1.1 (Wall)	316 lx (>= 50 lx)	0.56 (>= 0.10)	
M 1.2 (Wall)	506 lx (>= 50 lx)	0.68 (>= 0.10)	
M 1.3 (Wall)	319 lx (>= 50 lx)	0.55 (>= 0.10)	
M 1.4 (Wall)	329 lx (>= 50 lx)	0.60 (>= 0.10)	
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ:</b>		<b>Illuminance</b>	
		Average illuminance	Eav 513 lx
		Minimum illuminance	Emin 424 lx
		Maximum illuminance	Emax 688 lx
		Uniformity Uo	Emin/Em 1:1.21 (0.83)
		Diversity Ud	Emin/Emax 1:1.62 (0.62)

Εικόνα 5.38 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για τη διάταξη 9 στην αίθουσα 007

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΣ PROMETHEE

## 6.1 Εισαγωγή στη λήψη αποφάσεων

Η λήψη αποφάσεων είναι το συνηθέστερο αλλά και σημαντικότερο φαινόμενο της ανθρώπινης δραστηριότητας. Σε πολλές στιγμές της καθημερινότητας είναι απαραίτητο να ληφθούν οι σωστές αποφάσεις όσο το δυνατόν ταχύτερα, προκειμένου να αντιμετωπιστούν διάφορα προβλήματα. Αυτά μπορεί να έχουν να κάνουν για παράδειγμα, με την πρόσληψη ή απόλυση προσωπικού, την αξιολόγηση ευκαιριών εργασίας, την εύρεση νέου τόπου κατοικίας, την οργάνωση ενός ταξιδιού, τη διεξαγωγή επενδυτικών έργων κτλ. Η λήψη όλων αυτών των αποφάσεων και η επίλυση του κάθε προβλήματος περιλαμβάνει πέντε βασικά στάδια:

- Συγκέντρωση Πληροφορίας (Intelligence):

Αναγνώριση των προβλημάτων ή ευκαιριών και συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων για το θέμα που εξετάζεται, καθώς και διατύπωση του στόχου της διαδικασίας.

- Σχεδιασμός (Design):

Οι αποφασίζοντες θεωρούν συνολικά τα δεδομένα του προβλήματος και επιλέγουν τη μέθοδο και τα κριτήρια, με βάση τα οποία θα γίνει η λήψη της τελικής απόφασης.

- Εναλλακτικές λύσεις (Alternatives):

Σχεδιασμός εναλλακτικών λύσεων που να οδηγούν στην εκπλήρωση του στόχου.

- Αποτίμηση (Impact estimation):

Εκτίμηση των επιπτώσεων των λύσεων και αξιολόγηση αυτών.

- Λήψη απόφασης (Decision making):

Επιλογή βέλτιστης λύσης, τηρουμένων των δεδομένων αναλογιών, με τη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων υπεύθυνων φορέων.

Οι λαμβανόμενες αποφάσεις ως προς τον βαθμό δόμησής τους διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες:

- ✧ Δομημένες (Structured):

Πρόκειται για συνηθισμένες, επαναλαμβανόμενες αποφάσεις, για τις οποίες υπάρχει σχετική εμπειρία για λήψη των αποφάσεων αυτών. Για κάθε ένα από τα τέσσερα προηγούμενα βασικά στάδια αποσαφηνίζεται το ποια δεδομένα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και ποιες επεξεργασίες αυτών να πραγματοποιηθούν για να προκύψει η απόφαση. Για τις δομημένες αποφάσεις υπάρχει δυνατότητα για πλήρη αυτοματοποίηση, μέσα από ηλεκτρονικό υπολογιστή (ενδεχομένως με τελική επιβεβαίωση από το χρήστη).

- ✧ Μη Δομημένες (Unstructured):

Πρόκειται για αποφάσεις που δεν είναι συνηθισμένες και επαναλαμβανόμενες (συνήθως πολύπλοκες και κρίσιμες), για τις οποίες δεν υπάρχει εμπειρία όσον αφορά την λήψη τους, δηλαδή ποια δεδομένα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για κάθε στάδιο και ποιες επεξεργασίες να σε πραγματοποιηθούν σε αυτά, με την παράμετρο ότι τα παραπάνω είναι στην κρίση του αποφασίζοντος, ο οποίος:

- 1) βλέπει κάποια αρχικά δεδομένα
- 2) πραγματοποιεί κάποιες πρώτες επεξεργασίες τους κύκλος απόφασης
- 3) εξάγει κάποια πρώτα συμπεράσματα
- 4) επανάληψη του κύκλου

π.χ. αποφάσεις για νέα προϊόντα, νέες (όχι πλήρως δοκιμασμένες) τεχνολογίες παραγωγής κτλ. Οι μη δομημένες αποφάσεις δεν είναι δυνατόν να αυτοματοποιηθούν πλήρως από ηλεκτρονικό υπολογιστή, είναι όμως εφικτό να υποβοηθηθούν ή να υποστηριχθούν αποτελεσματικά από ηλεκτρονικό υπολογιστή (decision support), όσον αφορά τόσο στην πρόσβαση στα αναγκαία δεδομένα όσο και στην επεξεργασία αυτών.

#### ✧ Ημιδομημένες (Semistructured):

Πρόκειται για κατηγορία αποφάσεων, οι οποίες είναι μεταξύ των δύο παραπάνω κατηγοριών, και περιλαμβάνει αποφάσεις για τις οποίες υπάρχει κάποια χονδρικού επιπέδου εμπειρία, αλλά χωρίς συγκεκριμένα και λεπτομερή βήματα, όπως για παράδειγμα προγραμματισμός παραγωγής. Οι αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν σε μία επιχείρηση μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν και ως προς την επιχειρησιακή λειτουργία την οποία αφορούν, π.χ. αποφάσεις εμπορικές, οικονομικές, τεχνολογικές, παραγωγής, προμήθειών, κτλ. [11, 13].

Η ραγδαία εξέλιξη της πληροφορικής σε συνδυασμό με την αναθεώρηση του τρόπου προσέγγισης των προβλημάτων απόφασης, τον οποίον επηρεάζει η πολυκριτηριακή ανάλυση των σύγχρονων προβλημάτων, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων. Στόχος των ΣΥΑ είναι η ενίσχυση του όλου του αποφασίζοντος μέσα σε μία επιχείρηση και η διευκόλυνση του έργου του για μία αποτελεσματικότερη διοίκηση. Η χρήση των ΣΥΑ για την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων απόφασης διευρύνει το πεδίο αντίληψης των χρηστών - αποφασιζόντων, οι οποίοι εντρυφώντας βαθύτερα στο περιβάλλον του προβλήματος, αναγνωρίζουν νέες ανάγκες και διαμορφώνουν νέες απαιτήσεις. Έτσι, τα ΣΥΑ χαρακτηρίζονται ως εξελισσόμενα συστήματα που επεκτείνονται και διευρύνονται συνεχώς στις συνθήκες που δημιουργούνται από την προβολή νέων απαιτήσεων, καθώς η γνώση των αποφασιζόντων αυξάνεται. Ένα ΣΥΑ μπορεί να υποστηρίξει ημιδομημένες και αδόμητες αποφάσεις ενός ή και περισσότερων ιεραρχικών επιπέδων, τόσο για ατομική όσο και για ομαδική λήψη αποφάσεων. Είναι βασικό να αποσαφηνίζεται ο τρόπος που θα διαπιστωθεί ότι το σύστημα έχει ολοκληρωθεί, δηλαδή τότε η διαδικασία σχεδιασμού έχει προσεγγίσει και πλησιάσει στην επίτευξη των στόχων [13].

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί κάθε ξεχωριστό πρόβλημα στα συστήματα αποφάσεων χρησιμεύει αρκετά η κατασκευή και αξιοποίηση μοντέλων. Αυτό συμβαίνει, διότι σε αντίθεση με το πραγματικό σύστημα, επιτρέπεται ο πειραματισμός και ο προσδιορισμός μιας βέλτιστης απόφασης, ανάλογα με τα κριτήρια που έχουν τεθεί. Γενικά ως μοντέλο ορίζεται η συμβολική αναπαράσταση ενός αντικειμένου από τον πραγματικό κόσμο, μέσω μιας αφαιρετικής διαδικασίας. Τα μοντέλα μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

#### ✧ Φυσικά μοντέλα:

Αποτελούν πιστές αναπαραστάσεις των αντικειμένων που εξετάζονται και διαφοροποιούνται μόνο στο μέγεθος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας μοντέλων είναι οι χάρτες, τα σχέδια και οι φωτογραφίες.



✧ Αναλογικά μοντέλα:

Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει αντιστοιχία ιδιοτήτων μεταξύ του πραγματικού συστήματος και των ιδιοτήτων του μοντέλου. Για παράδειγμα ορίζεται η αντιστοιχία μεταξύ της τάσης σε ένα ηλεκτρικού πεδίου και των αντιστοιχών ισοδυναμικών γραμμών που αποτυπώνουν στο χαρτί το πεδίο.

✧ Συμβολικά μοντέλα:

Αποτελούν αναπαραστάσεις μέσω της χρήσης μαθηματικών συμβόλων. Παρόμοια, με μαθηματικό τρόπο ορίζονται και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων, καθώς και οι διάφοροι περιορισμοί που επιβάλλονται. Επειδή αποτελούν την πιο αφηρημένη μορφή είναι τα πιο εύχρηστα και έχουν την μεγαλύτερη εφαρμογή στα συστήματα αποφάσεων [13].

## 6.2 Κριτήρια και Μοντελοποίηση

Βασικός όρος που χαρακτηρίζει τον τρόπο λειτουργίας των πολυκριτηριακών συστημάτων αποφάσεων είναι το «κριτήριο». Ως κριτήριο ορίζεται κάθε πραγματική συνάρτηση  $g$ , η οποία αποτυπώνει τη συμπεριφορά των διαφόρων εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε έναν πραγματικό αριθμό, έτσι ώστε για δύο οποιεσδήποτε εναλλακτικές δραστηριότητες  $\alpha$  και  $\beta$  να ισχύουν:

$g(\alpha) > g(\beta)$ , με  $\alpha > \beta$ : η  $\alpha$  προτιμάται της  $\beta$  ( $\alpha S \beta$ )

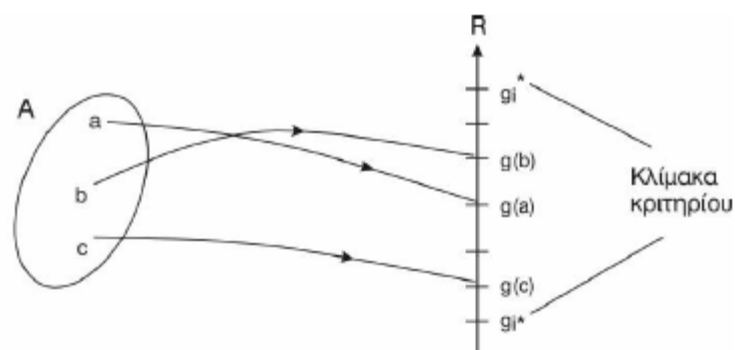
$g(\alpha) = g(\beta)$ , με  $\alpha \sim \beta$ : η  $\alpha$  είναι ισοδύναμη της  $\beta$

Για τη συνάρτηση  $g$  ισχύει:

$$g: A \rightarrow R / \alpha \rightarrow g(\alpha)$$

Ισχύει ότι  $g(\alpha)$  είναι η τιμή ή η αξιολόγηση της δράσης  $\alpha \in A$ , πάνω στο κριτήριο  $g$ . Η συνάρτηση αυτή οφείλει να ικανοποιεί την ιδιότητα συνέπειας ή μονοτονίας.

Από τον ορισμό που παρατέθηκε, ότι όσο αυξάνεται η τιμή του κριτηρίου τόσο αυξάνονται οι προτιμήσεις ενός αποφασίζοντος προς το κριτήριο. Αναλυτικά οι συσχετίσεις παρατίθενται στην εικόνα 6.1.



Εικόνα 6.1 Προτιμήσεις αυξανόμενες με τις τιμές του κριτηρίου  $g$  [13]

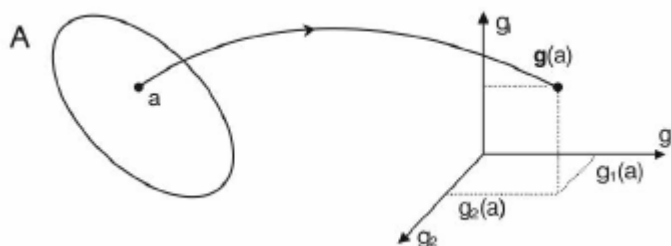
Προκειμένου να γίνει επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων αξιοποιούνται οικογένειες κριτηρίων, δηλαδή ένα σύνολο δράσεων που συνδυάζουν τρία χαρακτηριστικά.

- Το πρώτο είναι ότι διαθέτουν *συνέπεια ή μονοτονία*, δηλαδή αν ισχύει για ένα ζεύγος δράσεων  $\alpha, \beta$  ότι:  $g_i(\alpha) = g_i(\beta)$ , για κάθε  $i$  διαφορετικό του  $j$  και  $g_i(\alpha) > g_i(\beta)$ , τότε θα υπερέχει η  $\alpha$  της  $\beta$ . Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από το ότι η

$\alpha$  έχει ίδια τιμή με τη  $\beta$  σε όλα τα κριτήρια εκτός από ένα, στο οποίο έχει μεγαλύτερη τιμή, άρα διακρίνει και τις δύο δράσεις.

- ο Το δεύτερο είναι ότι διαθέτουν *επάρκεια*, δηλαδή αν ισχύει για ένα ζεύγος δράσεων  $\alpha, \beta$  ότι:  $g_i(\alpha) = g_i(\beta)$  για κάθε  $i=1,2,\dots,n$ , τότε οι δύο δράσεις είναι αδιάφορες μεταξύ τους. Αυτό συμπεραίνεται διότι δεν υπάρχει κάποιο κριτήριο να τις διακρίνει.
- ο Το τρίτο είναι ότι δεν διαθέτουν *πλεονασμό*, δηλαδή αν διαγραφεί ένα κριτήριο  $g_i$  από το σύνολο των κριτηρίων, τότε υπάρχει πιθανότητα να αναιρεθεί μία εκ των δύο προηγούμενων συνθηκών για ορισμένα ζεύγη δράσεων.

Γεωμετρικά η οικογένεια κριτηρίων αναπαρίσταται με το εξής διάνυσμα:  $g(\alpha) = (g_1(\alpha), g_2(\alpha), \dots, g_n(\alpha))$ . Η απεικόνιση αυτή συνιστά μία μορφή πολυκριτήριας αξιολόγησης για τη δράση  $\alpha$  και φαίνεται αναλυτικά στην εικόνα 6.2:



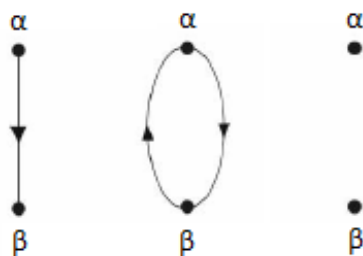
Εικόνα 6.2 Πολυκριτήρια απεικόνιση του συνόλου  $A$  στο χώρο  $R^n$  [13]

Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα κριτήρια έχουν να κάνουν με τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Αυτά μπορεί να είναι είτε *ποσοτικά* ή *μετρητικά*, δηλαδή να έχουν κλίμακα προτίμησης μία κλίμακα μέτρου. Επιτρέπεται η σύγκριση διαστημάτων στο εσωτερικό της κλίμακας από τον αποφασίζοντα, ο οποίος ορίζοντας κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης για την κλίμακα, επιτρέπει τελικά την εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων. Επίσης μπορεί να είναι *ποιοτικά* ή *διάταξης*, δηλαδή να έχουν κλίμακα προτίμησης μία κλίμακα διάταξης. Ο αποφασίζων συγκρίνει τις δράσεις βάση ισοδυναμιών και τις αξιολογεί. Άλλη κατηγορία είναι τα *πιθανοτικά* κριτήρια, δηλαδή αυτά, των οποίων οι δράσεις αξιολογούνται πάνω στην κλίμακα του κριτηρίου, πχ. μία συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Τέλος υπάρχουν και τα *ασαφή* κριτήρια, δηλαδή αυτά που αξιολογούνται με βάση μία συνάρτηση δυνατότητας, για μία τιμή κριτηρίου. Η συνάρτηση αυτή δείχνει πόσο δυνατή είναι η κάθε τιμή που παρουσιάζει το κριτήριο και γενικότερα δεν υπακούει η κατηγορία αυτή στατιστικούς νόμους.

Πέρα από την έννοια του κριτηρίου, μεγάλη σημασία στην πολυκριτήρια ανάλυση έχει και η μοντελοποίηση των διαφόρων προτιμήσεων, με την οποία ο αποφασίζων μπορεί να καταλήξει σε ένα σωστό τελικά αποτέλεσμα. Τα είδη της μοντελοποίησης είναι δύο. Μπορεί να πραγματοποιείται μέσω *διμερών σχέσεων* ή μέσω *συνάρτησης*.

Στην περίπτωση των διμερών σχέσεων ή αλλιώς σχέσεων υπεροχής κύριο στοιχείο συσχέτισης είναι το γράμμα  $S$ . Γράφοντας  $\alpha S \beta$  εννοείται ότι η δράση  $\alpha$  είναι όσο καλή όσο η  $\beta$ . Μέσω των παρακάτω σχημάτων της εικόνας 6.3 μοντελοποιούνται τρεις θεμελιώδεις καταστάσεις μέσω της σχέσης υπεροχής που ορίζει το  $S$ :





Εικόνα 6.3 Θεμελιώδεις καταστάσεις, απόρροια της σχέσης υπεροχής [13]

Το 1<sup>ο</sup> μοντελοποιείται ως  $\alpha S\beta$  και  $\beta \$\alpha$ . Με τη συγκεκριμένη συσχέτιση θεωρείται ότι το  $\alpha$  προτιμάται σε σχέση του  $\beta$ . Διαφορετικά μπορεί να αναπαρασταθεί ως  $\alpha P\beta$ , με το  $P$  να δηλώνει ισχυρή προτίμηση της δράσης  $\alpha$  σε σχέση με τη  $\beta$ . Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ασθενής προτίμησης γράφονται ως  $\alpha Q\beta$ .

Το 2<sup>ο</sup> μοντελοποιείται ως  $\alpha S\beta$  και  $\beta S\alpha$ . Με τη συγκεκριμένη συσχέτιση θεωρείται ότι το  $\alpha$  είναι αδιάφορο σε σχέση με το  $\beta$ . Διαφορετικά μπορεί να αναπαρασταθεί ως  $\alpha I\beta$ , με το  $I$  να δηλώνει αδιαφορία μεταξύ των δύο δράσεων. Ουσιαστικά κάθε δράση υπερέχει απέναντι στην άλλη.

Το 3<sup>ο</sup> μοντελοποιείται ως  $\alpha \$\beta$  και  $\beta \$\alpha$ . Με τη συγκεκριμένη συσχέτιση θεωρείται ότι το  $\alpha$  είναι μη συγκρίσιμο σε σχέση με το  $\beta$ . Διαφορετικά μπορεί να αναπαρασταθεί ως  $\alpha R\beta$ , καθώς δεν έχουν κοινό σημείο σύγκρισης και δεν συνδέονται με κάποια σχέση μεταξύ τους.

Οι τέσσερις θεμελιώδεις σχέσεις, λοιπόν, είναι οι  $P$ ,  $Q$ ,  $I$ ,  $R$ , οι οποίες μοντελοποιούν τις ανωτέρω καταστάσεις που αναφέρθηκαν. Με κατάλληλη ομαδοποίηση αυτών εισάγονται νέες ομαδοποιημένες καταστάσεις, οι οποίες εκφράζουν πιθανές καταστάσεις σύγκρισης ή δισταγμού ως εξής:

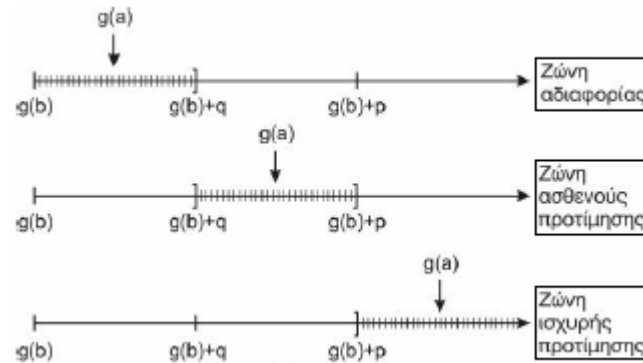
- $a \sim b$  : Μη προτίμηση :  $aIb$  ή  $aRb$
- $a > b$  : Προτίμηση :  $aPb$  ή  $aQb$
- $aJb$  : Προδιάθεση προτίμησης :  $aQb$  ή  $aIb$
- $aKb$  :  $K$ -προτίμηση :  $aPb$  ή  $aIb$
- $aSb$  : Υπεροχή :  $aPb$  ή  $aQb$  ή  $aIb$

Στην περίπτωση της μοντελοποίησης με χρήση συναρτήσεων, αυτές διακρίνονται σε αξίας, κριτηρίου ή χρησιμότητας. Στις συναρτήσεις κριτηρίου, ορίζεται η έννοια του *ψευδοκριτηρίου*  $g$ , ώστε στην περίπτωση που υπάρχουν δύο συναρτήσεις  $q(g)$  και  $p(g)$ , που αποτελούν κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης αντίστοιχα και ταυτόχρονα ισχύει για δύο δράσεις  $\alpha, \beta$  ότι  $g(\alpha) \geq g(\beta)$ , να ισχύουν οι ακόλουθες διμερείς σχέσεις:

- $g(\alpha) > g(\beta) + p[g(\beta)] \Leftrightarrow \alpha P\beta$ .  
Στην περίπτωση αυτή το κριτήριο για τη δράση  $\alpha$  παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή από το άθροισμα του κριτηρίου για τη δράση  $\beta$  και το αντίστοιχο κατώφλι προτίμησης.
- $g(\beta) + q[g(\beta)] < g(\alpha) \leq g(\beta) + p[g(\beta)] \Leftrightarrow \alpha Q\beta$ .  
Στην περίπτωση αυτή το κριτήριο για τη δράση  $\alpha$  βρίσκεται μεταξύ των δύο κατωφλίων, άρα για τη δράση  $\alpha$  προκύπτει ασθενής προτίμηση σε σχέση με τη  $\beta$ .
- $g(\beta) \leq g(\alpha) \leq g(\beta) + q[g(\beta)] \Leftrightarrow \alpha I\beta$ .  
Στην περίπτωση αυτή η διαφορά μεταξύ των τιμών του κριτηρίου για κάθε μία δράση είναι πιο μικρή από το κατώφλι αδιαφορίας, επομένως δεν προκύπτει προτίμηση για κάποια δράση.

Ένα ψευδοκριτήριο μπορεί να είναι ημικριτήριο, δηλαδή να ισχύει  $p(g)=q(g)>0$ , άρα να προκύπτει μία ημιδιάταξη. Μπορεί επίσης να είναι προκριτήριο, δηλαδή να ισχύει  $q(g)=0$ , ή να είναι ένα πραγματικό κριτήριο, δηλαδή να ισχύει  $p(g)=q(g)=0$ . Στην τελευταία περίπτωση προκύπτει μία ολική προδιάταξη.

Στην εικόνα 6.4 αναπαρίστανται οι ζώνες προτίμησης και αδιαφορίας για τις δράσεις και τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν:



Εικόνα 6.4 Ζώνες προτίμησης και αδιαφορίας [13]

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, όταν η τιμή του κριτηρίου βρίσκεται στη ζώνη αδιαφορίας, τότε δεν δημιουργούνται σχέσεις υπεροχής και δεν μπορεί ο αποφασίζων να ξεχωρίσει κάποια δράση, άρα θεωρούνται ισοδύναμες (αΙβ). Όταν η τιμή του κριτηρίου ξεπεράσει το κατώφλι αδιαφορίας (q), τότε ο αποφασίζων εκφράζει μία ασθενή προτίμηση για τη συγκεκριμένη δράση α, σε σχέση με τη δράση β (αQβ). Τέλος, όταν η τιμή του κριτηρίου ξεπεράσει και το κατώφλι προτίμησης (p), η δράση α αποκτά ισχυρή προτίμηση σε σχέση με τη δράση β (αΡβ). Όπως ισχύει για τις συναρτήσεις  $p(g)$ ,  $q(g)$ , έτσι και οι  $g+p(g)$  και  $g+q(g)$  θα πρέπει να είναι μονότονες και να μην είναι φθίνουσες.

Ένα μοντέλο, στο οποίο ένα κριτήριο επιτρέπεται να αποζημιώσει ένα άλλο, σε περίπτωση που υπάρξει απώλεια μονάδων, με την προϋπόθεση ότι θα βρεθούν για κάποιο άλλο κριτήριο καλύτερες τιμές, οι οποίες θα καλύψουν την απώλεια που προέκυψε, καλείται *αντισταθμιστικό μοντέλο*. Σε αντίθετη περίπτωση το μοντέλο χαρακτηρίζεται ως μη αντισταθμιστικό, καθώς η απώλεια κάποιου κριτηρίου δεν επιτρέπεται να αποζημιωθεί πλήρως.

Η περίπτωση που ο αναλυτής επιθυμεί να θυσιάσει ένα κριτήριο για ένα άλλο μοντελοποιείται μέσω της έννοιας της *μοναδιαίας παραχώρησης*. Αυτή αποτελεί τον κύριο άξονα της πολυκριτηριακής θεωρίας της χρησιμότητας και δεν αφορά απαραίτητα χρηματική μονάδα. Ουσιαστικά είναι η προσαύξηση μονάδων του κριτηρίου  $g_i$ , η οποία πρέπει να επιτευχθεί στο σημείο-διάνυσμα  $g$ , προκειμένου να αποζημιωθεί ακριβώς η απώλεια μιας μονάδας στο κριτήριο  $g_i$  και συμβολίζεται με  $s_{ir}^g$ . Μαθηματικά εκφράζεται ισοδύναμα μέσω των εξής δύο σχέσεων:

$$(1) (g_1, g_2, \dots, g_{i-1}, \dots, g_i + s_{ir}^g, \dots, g_n) \sim (g_1, g_2, \dots, g_n)$$

$$(2) s_{ir}^g = \frac{\partial u(g) / \partial g_i}{\partial u(g) / \partial g_r}$$

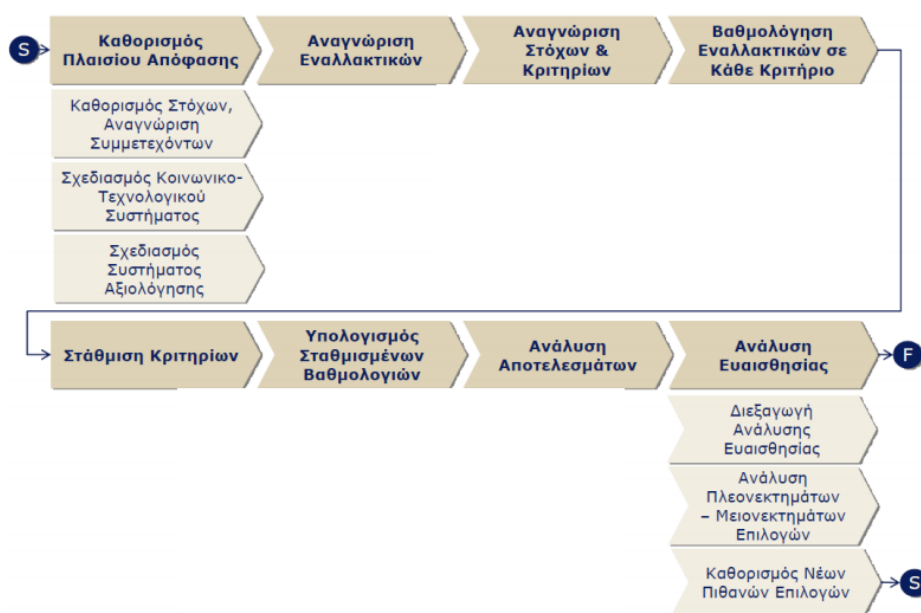
Η πρώτη μορφή διατύπωσης προσεγγίζει την έννοια μέσω διμερών σχέσεων και δείχνει ότι το κριτήριο  $g_r$  μαζί με την μοναδιαία παραχώρησή του, όταν αντικαταστήσει κάποιο  $g_i$ , δημιουργεί αδιαφορία σε σχέση με το αρχικό αποτέλεσμα.

Η δεύτερη μορφή διατύπωσης-σχέση αξιοποιεί τη συνάρτηση χρησιμότητας  $u(g)$ , όταν αυτή είναι διαφορίσιμη. Ο λόγος των μερικών παραγώγων αποδίδει τη μοναδιαία παραχώρηση και δημιουργεί σχέση ευαισθησίας ανάμεσα σε δύο κριτήρια, καθώς αντιστοιχίζεται στον τύπο που χρησιμοποιείται στα οικονομικά για την εύρεση ευαισθησίας [13].

### 6.3 Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί μία μεθοδολογική προσέγγιση και συνθέτει ένα σύνολο τεχνικών, το οποίο επιδιώκει την ιεράρχηση διαφορετικών εναλλακτικών από την καλύτερη στη χειρότερη. Ο στόχος της είναι να συμβάλλει στη λήψη αποφάσεων και όχι να λάβει την ίδια την απόφαση. Αποσυνθέτει ένα περίπλοκο πρόβλημα, ελέγχει εάν οι διαθέσιμες εναλλακτικές λύσεις ικανοποιούν τους επιμέρους στόχους, καθορίζει τη σημασία του καθενός και επανασυνθέτει τα επιμέρους τμήματα του προβλήματος. Γενικότερα υπάρχουν σημαντικές αποφάσεις που λαμβάνονται σε έναν οργανισμό και δεν στηρίζονται σε σαφώς καθορισμένες μεθόδους. Επομένως, δεν μπορούν να προσδιοριστούν με ακριβή ποσοτικά μοντέλα που τεκμηριώνουν πλήρως τον τρόπο με τον οποίον επιλέχθηκε μία συγκεκριμένη δράση.

Μέσω της πολυκριτηριακής ανάλυσης επιτυγχάνεται η συστηματική και μαθηματικά τυποποιημένη προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων, τα οποία προκύπτουν μέσα από αντικρουόμενους στόχους. Επειδή η ικανοποίηση των στόχων δεν γίνεται να είναι πλήρης, οι διαθέσιμες επιλογές σε ένα τέτοιο πρόβλημα παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς έναν ή περισσότερους, αλλά ποτέ ως προς το σύνολο των στόχων. Η επιλογή που θα ικανοποιούσε μια τέτοια συνθήκη θα ήταν η άριστη και δε θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης. Επομένως είναι αναγκαίος ένας συμβιβασμός μεταξύ των αλληλοσυγκρουόμενων στόχων, ώστε μέσω της πολυκριτηριακής ιεράρχησης επιλογών, η οποία εφαρμόζεται σε προβλήματα που εξετάζουν ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών επιλογών, να επιλέγεται η βέλτιστη επιθυμητή λύση [15]. Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης πραγματοποιείται σύμφωνα με τα ακόλουθα συγκεκριμένα βήματα στην εικόνα 6.5:



Εικόνα 6.5 Βήματα πολυκριτηριακής ανάλυσης [16]

Αρχικά καθορίζονται οι στόχοι και το πλαίσιο της απόφασης, ώστε οι αποφασίζοντες να ξεκινήσουν την ανάλυση του προβλήματος. Οι στόχοι της ανάλυσης είναι δυνατό να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της, αν προκύψουν νέα δεδομένα και απόψεις, αλλά ο αρχικός καθορισμός των στόχων αποτελεί απαραίτητο βήμα ώστε να καθοδηγηθεί ασφαλώς η μελέτη στα επόμενα στάδια. Έπειτα γίνεται αναγνώριση των διαφόρων εναλλακτικών που υπάρχουν, καθεμία από τις οποίες μπορεί να οδηγήσει σε λύση της υπό εξέταση απόφασης.

Ανάλογα με τους στόχους που έχουν τεθεί και τα δεδομένα κριτήρια, βαθμολογούνται οι εναλλακτικές. Ο καθορισμός των συνολικών σταθμισμένων βαθμολογιών προϋποθέτει την αμοιβαία ανεξαρτησία προτίμησης (mutual preference independence) των κριτηρίων, δηλαδή οι βαθμολογίες που τοποθετούνται σε όλες οι επιλογές σε ένα κριτήριο δεν επηρεάζονται από τις βαθμολογίες άλλων κριτηρίων. Η αμοιβαία εξάρτηση δύο κριτηρίων ανακαλύπτεται, είτε κατά τη διαμόρφωση των κριτηρίων είτε κατά τη βαθμολόγηση των επιλογών σε αυτά τα κριτήρια. Όταν μία επιλογή δε μπορεί να βαθμολογηθεί σε ένα κριτήριο, επειδή απαιτείται η γνώση της βαθμολογίας σε ένα άλλο, σημαίνει ότι υπάρχει εξάρτηση των κριτηρίων. Δύο εξαρτώμενα κριτήρια θα μπορούσαν πιθανά να συνδυαστούν ως ένα, υπό ορισμένες προϋποθέσεις.

Έπειτα αναλύονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα και γίνεται η απαραίτητη ανάλυση ευαισθησίας. Αυτή μπορεί να διεξαχθεί είτε με προσαρμογή των βαρυτήτων των κριτηρίων είτε με προσαρμογή των βαθμολογιών σε περιπτώσεις όπου υπήρχαν διαφωνίες μεταξύ διαφορετικών εμπλεκομένων στη διαδικασία βαθμολόγησης. Η ανάλυση ευαισθησίας εντοπίζει ξεκάθαρα τις λίγες δυνατές εναλλακτικές που συνήθως υπάρχουν και αποκαλύπτει πιθανές εναλλακτικές που είναι σχεδόν ισοδύναμες και τρόπους με τους οποίους οι εναλλακτικές επιλογές μπορούν να βελτιωθούν.

Στην πολυκριτηριακή ανάλυση υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι ανάλυσης προβλημάτων:

Ο πολυκριτηριακός *μαθηματικός προγραμματισμός* εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει συνεχές σύνολο άπειρου αριθμού επιλογών. Αντιμετωπίζει το πρόβλημα της κατανομής των βαρών σε ένα σύνολο από δραστηριότητες, σύμφωνα με το βαθμό σημαντικότητάς τους. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιούνται δυαδικές συγκρίσεις και αναπτύσσεται μια κλίμακα προτίμησης μεταξύ των δραστηριοτήτων με βάση τις εκτιμήσεις των αποφασιζόντων. Αυτή η διαδικασία καταλήγει στη δημιουργία ενός πίνακα βαρών κι ενός πίνακα εκτιμήσεων για κάθε κριτήριο. Το αρχικό πρόβλημα διασπάται σε επιμέρους τμήματα ή μεταβλητές, οι μεταβλητές ταξινομούνται ιεραρχικά δίνοντας αριθμητικές τιμές στις εκτιμήσεις της σχετικής σημαντικότητας και τέλος, γίνεται η σύνθεση των εκτιμήσεων προκειμένου να προσδιοριστεί ποια μεταβλητή έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα / επιρροή στο αποτέλεσμα.

Η πολυκριτηριακή *θεωρία χρησιμότητας* εφαρμόζεται σε συνεχές ή διακριτό σύνολο επιλογών και αποσκοπεί στην αναπαράσταση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνείδητα ακολουθεί ο αποφασίζων. Αυτό εξυπηρετείται από την αξιοποίηση μιας συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας. Εφαρμόζεται για την επίλυση προβλημάτων με διακριτές εναλλακτικές λύσεις, ιδιαίτερα όπου υπάρχουν προβλήματα επιλογής. Παρόλα αυτά, γίνεται να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις όπου επιδιώκεται κατάταξη ή ταξινόμηση των εναλλακτικών σε προκαθορισμένες κατηγορίες.

Οι *σχέσεις υπεροχής* χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων σε προκαθορισμένες κατηγορίες μέσω σχετικών συγκρίσεων με προκαθορισμένα

πρότυπα, όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Η βασική επιδίωξη των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η ύπαρξη ενός μέτρου σύγκρισης, με άξονα το οποίο θα συγκρίνονται οι επιμέρους εναλλακτικές, διαφορετικά αυτές θα καθίστανται μη συγκρίσιμες.

Η *αναλυτική – συνθετική προσέγγιση* αξιοποιεί συναρτήσεις χρησιμότητας για τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων του αποφασίζοντος, ώστε να πραγματοποιηθεί επιλογή, κατάταξη ή ταξινόμηση των διακριτών εναλλακτικών λύσεων. Η διαφορά με τη θεωρία χρησιμότητας αφορά τη διαδικασία ανάπτυξης της συνάρτησης χρησιμότητας. Η ανάλυση των προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων γίνεται μέσα σε ένα περιορισμένο σύνολο αναφοράς εναλλακτικών. Ο αποφασίζων εκφράζει τις συνολικές του προτιμήσεις για τις εναλλακτικές του συνόλου αναφοράς, με γνώμονα τη μορφή που πρέπει να έχει το αποτέλεσμα της αξιολόγησης ή ταξινομώντας τις σε προκαθορισμένες ομάδες. Έπειτα χρησιμοποιούνται τεχνικές παλινδρόμησης με βάση το μαθηματικό προγραμματισμό, από όπου προκύπτει η συνάρτηση χρησιμότητας, η οποία “αναπαράγει” τις επιλογές του αποφασίζοντος, με τον τρόπο που αυτές εκφράστηκαν στο σύνολο αναφοράς [16, 66].

Η πολυκριτηριακή ανάλυση μπορεί να διεξαχθεί μέσω διαφόρων μεθόδων ανάλυσης. Δύο βασικές είναι οι μέθοδοι ELECTRE και PROMETHEE. Η πρώτη περίπτωση αποτελεί μία μέθοδος υπεροχής. Η ουσία της μεθόδου είναι η χαλάρωση της σχέσης κυριαρχίας μεταξύ των δράσεων  $\alpha$  και  $\beta$ , έτσι ώστε η κυριαρχία να συνεπάγεται με καλύτερες αξιολογήσεις της κυρίαρχης δράσεις σε όλα τα κριτήρια. Η υπεροχή αντίστοιχα προκύπτει όταν η κυρίαρχη δράση έχει καλύτερες αξιολογήσεις στη μέγιστη πλειοψηφία των κριτηρίων. Αντίστοιχα η PROMETHEE, η οποία θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο, αποτελεί και αυτή μία μέθοδο υπεροχής που κατατάσσει τα εναλλακτικά σενάρια μέσω συγκρίσεων των ανά ζεύγος επιδόσεων των σεναρίων ως προς τα κριτήρια της ανάλυσης.

## 6.4 Πολυκριτηριακή μέθοδος PROMETHEE

Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '80 από τους Βέλγους Brans, Mareschal & Vincke και ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων σχέσεων υπεροχής (outranking relations methods). Σε αυτές η κατάταξη των εναλλακτικών σεναρίων είναι εφικτή μέσω συγκρίσεων των ανά ζεύγος επιδόσεων των εναλλακτικών σεναρίων ως προς τα κριτήρια της ανάλυσης.

Για να μπορέσει να εφαρμοστεί μία μέθοδος Promethee, θα πρέπει οι αποφασίζοντες να έχουν κατανοήσει πλήρως το πρόβλημα και το βάρος του κάθε κριτηρίου που χρησιμοποιείται. Προκειμένου να αξιολογηθεί η κάθε επιλογή θα πρέπει να βασίζεται στο εύρος της διαφοράς των επιδόσεων των επιμέρους εναλλακτικών, έτσι ώστε τελικά για ένα ζεύγος από τα υπό μελέτη σενάρια να προκύπτουν τρεις συσχετίσεις μεταξύ τους: το ένα να υπερέχει του άλλου ( $\alpha P \beta$ ), το ένα να μην είναι συμβατό με το άλλο ( $\alpha R \beta$ ) ή τα δύο σενάρια να είναι ισοδύναμα ( $\alpha I \beta$ ). Έτσι προκύπτει τελικά μία βέλτιστη απόφαση από τις επιμέρους συγκρίσεις και με βάση τη λειτουργία της μεθόδου.

Η μορφή της μεθόδου ποικίλει ανάλογα με διάφορα κριτήρια και τον τρόπο λειτουργίας της. Η Promethee I παρέχει τη μερική κατάταξη των εναλλακτικών σεναρίων (partial)

και η Promethee II παρέχει την πλήρη κατάταξή τους (complete). Οι δύο αυτές αποτελούν μεθόδους διμερούς σύγκρισης των επιμέρους δράσεων. Η Promethee III επιτρέπει την προσέγγιση προβλημάτων μέσα σε ένα στοχαστικό περιβάλλον απόφασης, η Promethee IV διενεργεί την αντιμετώπιση προβλημάτων αξιολόγησης μεγάλου αριθμού εναλλακτικών σεναρίων, η Promethee V παρέχει το πλαίσιο για την αντιμετώπιση προβλημάτων κατανομής πόρων και η Promethee VI πραγματοποιεί αναλύσεις ευαισθησίας.

Τα υπό μελέτη κριτήρια θεωρείται ότι έχουν σταθμιστεί από τον αποφασίζοντα, μέσα από τους συντελεστές βαρύτητας  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , για τους οποίους ισχύει η σχέση:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

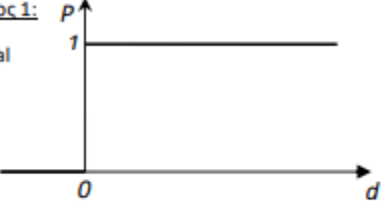
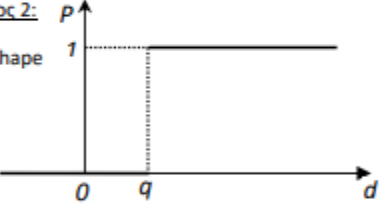
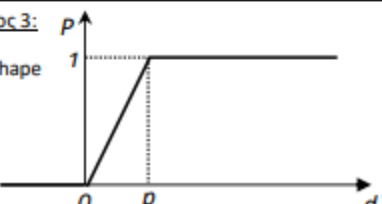
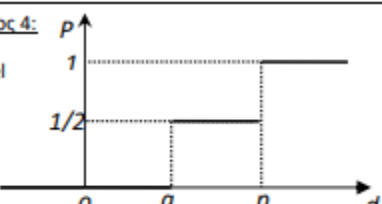
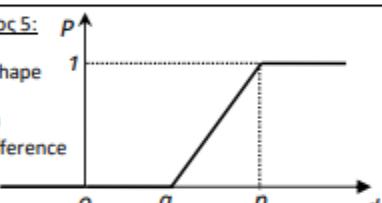
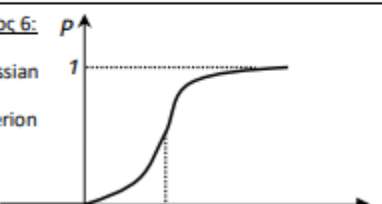
Για τα σενάρια επικράτησης της μεθόδου  $(\alpha, \beta)$  ισχύει ότι η διαφορά των επιδόσεών τους  $d_j(\alpha, \beta)$  για κάθε κριτήριο  $f_j$  είναι:

$$d_j(\alpha, \beta) = f_j(\alpha) - f_j(\beta)$$

Η έννοια του γενικευμένου κριτηρίου που εφαρμόζεται προκειμένου να μοντελοποιηθεί η αξία που αποδίδει ο ένας λήπτης απόφασης στην ανωτέρω διαφορά, εκφράζεται με μία συνάρτηση προτίμησης  $P_j$  σε κοινή κλίμακα μέτρησης, μέσω συναρτησιακών σχέσεων  $F_j$ :

$$P_j(\alpha, \beta) = F_j(d_j(\alpha, \beta)) = F_j(f_j(\alpha) - f_j(\beta)), \quad \text{με } 0 \leq P_j(\alpha, \beta) \leq 1$$

Προκειμένου να εκφραστούν όλες οι περιπτώσεις που προκύπτουν από τη μέθοδο, ορίζονται οι δείκτες  $q$  και  $p$ , που αποτελούν το κατώφλι αδιαφορίας και προτίμησης αντίστοιχα. Το  $q$  είναι η μεγαλύτερη τιμή της διαφοράς  $d$ , για την οποία οι εναλλακτικές λύσεις είναι μεταξύ τους αδιάφορες για το κριτήριο  $j$ . Το  $p$  είναι η μικρότερη τιμή της διαφοράς  $d$  στο κριτήριο  $j$ , πάνω από την οποία δημιουργείται σαφής προτίμηση. Σε κάθε περίπτωση, λοιπόν, χρησιμοποιείται στην Promethee ένας συγκεκριμένος τύπος γενικευμένου κριτηρίου για τη συνάρτηση  $P(d)$ , ώστε να προκύψει η προτίμηση ανά κριτήριο. Οι έξι περιπτώσεις απεικονίζονται γραφικά στην εικόνα 6.6 ως εξής:

Γενικευμένο κριτήριο	Ορισμός	Παράμετροι
<u>Τύπος 1:</u> Usual 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	-
<u>Τύπος 2:</u> U - shape 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	$q$
<u>Τύπος 3:</u> V - shape 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	$p$
<u>Τύπος 4:</u> Level 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	$p, q$
<u>Τύπος 5:</u> V - shape with indifference 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	$p, q$
<u>Τύπος 6:</u> Gaussian Criterion 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{\frac{-d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	$s$

Εικόνα 6.6 Τυπολογία γενικευμένων κριτηρίων Promethee [10]

Σε περιπτώσεις όπου ένα από τα κριτήρια που χρησιμοποιείται είναι φθίνον, τότε θα λαμβάνεται το αντίθετο της διαφοράς των επιδόσεων και θα ισχύει ο εξής τύπος:

$$P_j(\alpha, \beta) = F_j(-d_j(\alpha, \beta)) = F_j(f_j(\beta) - f_j(\alpha))$$

Ο σταθμισμένος δείκτης προτίμησης του σεναρίου  $\alpha$  έναντι του  $\beta$ , ο οποίος αντιπροσωπεύει τον ολικό βαθμό προτίμησης της μίας δράσης ( $\alpha$ ) απέναντι στην άλλη ( $\beta$ ), αποτελεί ουσιαστικά ένα πίνακα  $n \times n$  διαστάσεων, στις θέσεις του οποίου τοποθετείται το άθροισμα των αντίστοιχων σταθμισμένων με τα αντίστοιχα βάρη των κριτηρίων  $w_j$  των προτιμήσεων  $P_j$ . Εκφράζεται μέσω του εξής τύπου:

$$\pi(\alpha, \beta) = \sum_{j=1}^n w_j * P_j(\alpha, \beta)$$

Οι ροές υπεροχής είναι οι δείκτες που αποδίδουν τελικά την αξιολόγηση των εναλλακτικών δράσεων της μεθόδου Promethee, όπως αυτή εφαρμόζεται για τα διάφορα κριτήρια. Για τα εναλλακτικά σενάρια  $A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \alpha_n)$ , οι τιμές που προκύπτουν για τη θετική και αρνητική ροή προτίμησης αντίστοιχα είναι οι εξής:

$$\Phi^+(\alpha_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n \pi(\alpha_i, \alpha_m)$$

$$\Phi^-(\alpha_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n \pi(\alpha_m, \alpha_i)$$

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται μέθοδος Promethee II, δεν τίθεται θέμα ασυμβατότητας, καθώς υπάρχει άμεση συσχέτιση των εναλλακτικών σεναρίων, είτε υπερέχει το ένα του άλλου είτε είναι ισοδύναμα μεταξύ τους. Η καθαρή ροή προτίμησης προκύπτει από τη διαφορά των ανωτέρων δύο ως εξής:

$$\Phi(\alpha_i) = \Phi^+(\alpha_i) - \Phi^-(\alpha_i), \text{ με } 0 \leq \Phi(\alpha_i) \leq 1 \text{ και } \sum_{j=1}^n \Phi(\alpha_i) = 0$$

Η δράση, η οποία σε ένα πρόβλημα που χρησιμοποιείται η Promethee II, έχει τη μεγαλύτερη καθαρή ροή προτίμησης από τις υπόλοιπες εναλλακτικές, αποτελεί και τη βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Για τη σχέση αυτή, όταν συγκρίνονται δύο δράσεις  $\alpha$  και  $\beta$ , ισχύει ότι:

- $\Phi(\alpha) > \Phi(\beta)$ , όταν  $\alpha P \beta$
- $\Phi(\alpha) = \Phi(\beta)$ , όταν  $\alpha I \beta$

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται μέθοδος Promethee I, πρόκειται για μερική κατάταξη, άρα με βάση τα  $\Phi^+(\alpha_i)$  και  $\Phi^-(\alpha_i)$  κατατάσσονται τα σενάρια του κάθε προβλήματος σύμφωνα και με τρεις δομές προτίμησης. Τελικά, στην περίπτωση αυτή ισχύει:

- $\Phi^+(\alpha) > \Phi^+(\beta) \ \& \ \Phi^-(\alpha) < \Phi^-(\beta)$
- ή  $\Phi^+(\alpha) = \Phi^+(\beta) \ \& \ \Phi^-(\alpha) < \Phi^-(\beta)$
- ή  $\Phi^+(\alpha) > \Phi^+(\beta) \ \& \ \Phi^-(\alpha) = \Phi^-(\beta)$

TOTE  $\alpha P \beta$

- $\Phi^+(\alpha) = \Phi^+(\beta) \ \& \ \Phi^-(\alpha) = \Phi^-(\beta)$

TOTE  $\alpha I \beta$

- $\Phi^+(\alpha) > \Phi^+(\beta) \ \& \ \Phi^-(\alpha) > \Phi^-(\beta)$

- ή  $\Phi^+(\alpha) < \Phi^+(\beta) \ \& \ \Phi^-(\alpha) < \Phi^-(\beta)$

TOTE  $\alpha R \beta$

[10, 13].



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>:**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PROMETHEE II**

### **ΣΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ**

#### **7.1 Εισαγωγή**

Η μέθοδος Promethee II, τα χαρακτηριστικά της οποίας αναλύθηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο 6, εφαρμόζεται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις στο πρόγραμμα Relux για τις αίθουσες 001 και 007. Τα αποτελέσματα αυτά παρατέθηκαν στο κεφάλαιο 5. Σκοπός της εφαρμογής της μεθόδου είναι η εύρεση της βέλτιστης εγκατάστασης φωτιστικών για την κάθε αίθουσα ξεχωριστά, με βάση τα χαρακτηριστικά της Promethee II.

Η κάθε εγκατάσταση φωτιστικών για τα δεδομένα της μεθόδου θεωρείται ως δράση και για κάθε δράση εφαρμόζονται τα αντίστοιχα κριτήρια. Οι δράσεις είναι 9 για την αίθουσα 001 και 9 για την αίθουσα 007. Τα κριτήρια είναι 8 συνολικά, καθένα από τα οποία επιλέχθηκε με βάση τη σημασία που έχει ως μέγεθος στη διαδικασία εύρεσης βέλτιστης εγκατάστασης. Ανάλογα με το πόσο σημαντικό θεωρείται το κάθε κριτήριο, του αποδίδεται ένα αντίστοιχο βάρος, το οποίο επηρεάζει όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο τα αποτελέσματα της μεθόδου.

Για τον υπολογισμό της καθαρής ροής υπεροχής, που προκύπτει μέσω της Promethee II, χρησιμοποιήθηκε το Microsoft Excel σε συνδυασμό με το εμπορικό λογισμικό Visual PROMETHEE. Στο συγκεκριμένο λογισμικό, δίνοντας ως δεδομένα τις τιμές που λαμβάνει το κάθε κριτήριο για όλες τις δράσεις ξεχωριστά και τα αντίστοιχα βάρη, υπολόγισε την θετική και αρνητική ροή υπεροχής και συνεπώς την καθαρή ροή, που είναι και το ζητούμενο, ώστε να γίνει κατάταξη των δράσεων και να γίνει εύρεση της βέλτιστης εγκατάστασης φωτιστικών για τις αίθουσες 001 και 007. Παρόλα αυτά η αναλυτική κατάστρωση της μεθόδου παρατίθεται και πραγματοποιήθηκε στο Microsoft Excel, με εφαρμογή των τύπων της Promethee II και αξιοποίηση συναρτήσεων του Excel. Μέσω του λογισμικού Visual PROMETHEE, εξήχθησαν και διάφορα διαγράμματα, τα οποία απεικονίζουν σχηματικά τα αποτελέσματα της μεθόδου ή δείχνουν τη συμβολή του κάθε κριτηρίου στη διαμόρφωση του αποτελέσματος για κάθε δράση ξεχωριστά.

Στο κεφάλαιο αυτό, πέρα από τα όσα προαναφέρθηκαν, θα παρουσιαστεί επίσης στην παράγραφο 7.5 μελέτη φυσικού φωτισμού για τη βέλτιστη εγκατάσταση φωτιστικών που προέκυψε για την αίθουσα 001, μέσω της μεθόδου Promethee II. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε μέσω του εμπορικού προγράμματος Relux για την ζητούμενη εγκατάσταση.

## 7.2 Επιλεγμένες δράσεις, κριτήρια & βάρη για την Promethee II

Για την υλοποίηση της μεθόδου Promethee II αξιοποιήθηκαν οι εγκαταστάσεις φωτισμού που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση και καταγράφηκαν στο κεφάλαιο 5, καθεμία από αυτές, για λόγους συντομίας και διευκόλυνσης θα συμβολίζεται με μία συντομογραφία, όπως αντιστοιχίζονται στους ακόλουθους πίνακες 7.1 και 7.2 για την κάθε αίθουσα:

**Πίνακας 7.1 Συντομογραφία δράσης ανά εγκατάσταση φωτιστικού στην αίθουσα 001**

Συντομογραφία Δράσης	Μοντέλο Φωτιστικού	Εταιρεία Φωτιστικού	Αίθουσα
A	ELEDN-40NW11P	A.L.S.	001
B	Sidelite ECO 35 312102.002.1.76	RZB	
Γ	CoreLine Panel RC132V W60L60 1 xLED36S/840 OC	PHILIPS	
Δ	GacruX II Eco MCD 37W 4000K FIX 60x60 (7842106796)	LEMVIGH-MÜLLER	
E	PEMP/600 LED 3700 32W 840 ET vw (60164034150)	REGIOLUX	
Z	TALISKA P TALP66244KZ	EATON	
H	SlimBlend Square SM400C POE W60L60 EL3 EM 1 xLED36S/840	PHILIPS	
Θ	COMMERCIAL - Pluto LED APLULED	ANSELL	
I	Cleanline LED CZ17994	THORLUX	

**Πίνακας 7.2 Συντομογραφία δράσης ανά εγκατάσταση φωτιστικού στην αίθουσα 007**

Συντομογραφία Δράσης	Μοντέλο Φωτιστικού	Εταιρεία Φωτιστικού	Αίθουσα
A	UEX/625 LED-3000 22W 840 ET vw (76020404160)	REGIOLUX	007
B	GEO 3 2001.4132	REGENT	
Γ	C30-RIC625 G2 LED 2800 830 SU	GLAMOX	
Δ	PLL-ECO 593.0625.30.2	LTS	
E	FREYN II 3100 lm 22W/84 LED 595x595 (7857002254)	LEMVIGH-MÜLLER	
Z	PANEL LED 625 4058075000728	LEDVANCE	
H	CORNELL CNL66444KZ	EATON	
Θ	APOLLON 0MQ111723W1	OSRAM	
I	ASTRID 60x60 GWS2606	GEWISS	

Οι προαναφερθείσες δράσεις, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση στο Relux για κάθε περίπτωση, συγκρίνονται ως προς τα τεχνικά και ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, την επίδραση που έχουν στην αίθουσα και το κόστους τους. Μέσω της Promethee II μοντελοποιήθηκαν 8 κριτήρια. Τα συγκεκριμένα επιλέχθηκαν με βάση την επιδίωξη για επίτευξη οικονομικής και ενεργειακής αποδοτικότητας, ώστε να ευρεθεί η βέλτιστη δράση εφαρμογής στις αίθουσες. Στο καθένα επιλέγεται, εάν επιδιώκεται μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίησή του, μέσω της μεθόδου. Ανεξάρτητα από το σκοπό της εύρεσης μέγιστης ή ελάχιστης τιμής του κάθε μεγέθους, θα πρέπει πάντα να ικανοποιούνται για τις ενεργειακές παραμέτρους οι απαιτήσεις του προτύπου EN 12464-1, έτσι ώστε ο κατάλληλος συνδυασμός των κριτηρίων σε κάθε περίπτωση, να αναδεικνύει μέσω της μεθόδου τη βέλτιστη διάταξη εγκατάστασης φωτιστικών. Με βάση τις διατάξεις που επιλέχθηκαν στο κεφάλαιο 5, οι

οποίες επαληθεύουν το πρότυπο, τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση της Promethee II είναι τα εξής:

1. Μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο επίπεδο των εδράνων ( $E_{m,εδράνων}$ ).  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται μεγιστοποίησή του. (max)
2. Ομοιομορφία φωτισμού στο επίπεδο των εδράνων ( $U_{o,εδράνων}$ ).  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται μεγιστοποίησή του. (max)
3. Μέση ένταση φωτισμού που αποδίδεται στο επίπεδο του πίνακα ( $E_{m,πίνακα}$ ).  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται μεγιστοποίησή του. (max)
4. Ομοιομορφία φωτισμού στο επίπεδο του πίνακα ( $U_{o,πίνακα}$ ).  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται μεγιστοποίησή του. (max)
5. Δείκτης θάμβωσης φωτιστικού (**UGR**).  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται ελαχιστοποίησή του. (min)
6. Δείκτης χρωματικής απόδοσης φωτιστικού (**CRI**).  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται μεγιστοποίησή του. (max)
7. Καταναλισκόμενη ισχύς της συνολικής εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων που τοποθετήθηκαν στην αίθουσα. (**P**)  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται ελαχιστοποίησή του. (min)
8. Συνολικό κόστος εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων που τοποθετήθηκαν στην αίθουσα. (**Κόστος**)  
Για το συγκεκριμένο κριτήριο επιδιώκεται ελαχιστοποίησή του. (min)

Όσον αφορά το 8<sup>ο</sup> κριτήριο που αφορά το συνολικό κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών, αυτό προέκυψε από την τιμή τους σε διάφορα ηλεκτρονικά μαγαζιά, όπως αυτά διατίθενται εμπορικά. Σε ορισμένα φωτιστικά σώματα, επειδή δεν ήταν δυνατό να βρεθούν εμπορικά διαθέσιμα, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η τιμή τους, το αναγραφόμενο κόστος προέκυψε από αντίστοιχους τύπους φωτιστικών, με όμοια καταναλισκόμενη ισχύ και απόδοση, συγκριτικά και με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Παρακάτω παρατίθενται στους πίνακες 7.3 και 7.4 τα κόστη για κάθε φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε, αντιστοιχίζοντας με τη συντομογραφία για τις αίθουσες 001 και 007:

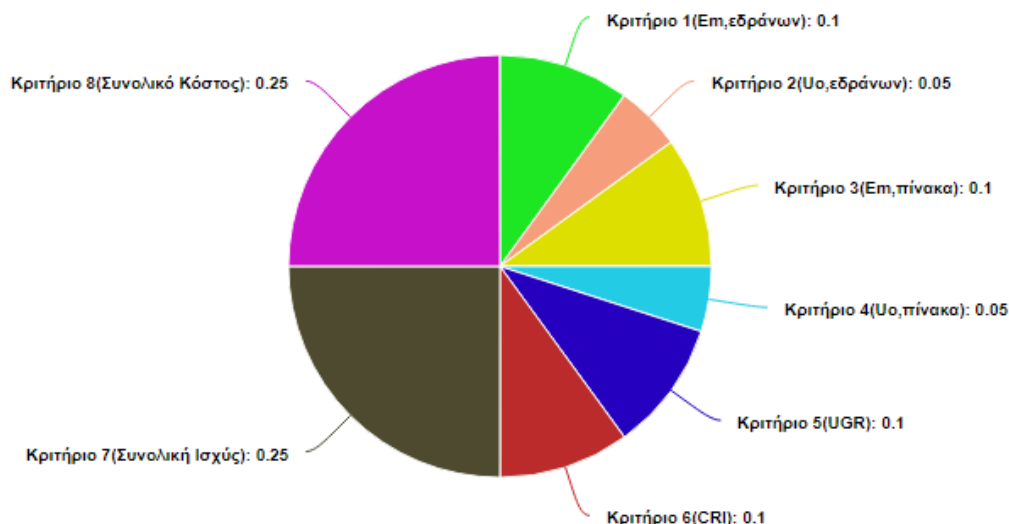
**Πίνακας 7.3 Κόστος φωτιστικού και συνολικής εγκατάστασης ανά δράση στην αίθουσα 001**

Δράση	Αριθμός Επιλεγμένων Φωτιστικών	Κόστος Φωτιστικού (€)	Συνολικό κόστος εγκατάστασης φωτιστικών (€)
A	20	97.5	1950
B	30	159	3180
Γ	20	163	3260
Δ	20	213	4260
E	20	147.7	2954
Z	30	190	5700
H	20	330	6600
Θ	20	155.9	3118
I	25	160	4000

**Πίνακας 7.4 Κόστος φωτιστικού και συνολικής εγκατάστασης ανά δράση στην αίθουσα 007**

Δράση	Αριθμός Επιλεγμένων Φωτιστικών	Κόστος Φωτιστικού (€)	Συνολικό κόστος εγκατάστασης φωτιστικών (€)
A	20	208.5	4170
B	20	250	5000
Γ	25	275	6875
Δ	15	207	3105
E	20	116	2320
Z	18	133	2394
H	15	270	4050
Θ	18	86.8	1562.4
I	20	240	4800

Όσον αφορά τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν στην Promethee II, η επιλογή του έγινε με βάση συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Η ανάγκη για εύρεση εγκατάστασης που θα διασφαλίζεται το μικρότερο δυνατό κόστος και τη μικρότερη δυνατή καταναλισκόμενη ισχύ, είναι βασική παράμετρος για τη διασφάλιση της οικονομικής και ενεργειακής εξοικονόμησης. Για αυτό το λόγο δόθηκε πρωτίστως έμφαση στα βάρη των κριτηρίων 7 και 8, θεωρώντας τα ίσα με 0.25. Οι φωτοτεχνικές απαιτήσεις είναι επίσης σημαντικές και θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ικανοποιούνται, αλλά θεωρείται ότι εφόσον ικανοποιούν το πρότυπο, έχουν δευτερεύουσα σημασία, συγκριτικά πάντα με τα κριτήρια 7 και 8. Το αντίστοιχο βάρος που τους αποδόθηκε είναι 0.1 για τα κριτήρια 1, 3, 5 και 6, ενώ για τα κριτήρια 2 και 4 που αφορούν την ομοιομορφία δόθηκε το μικρότερο βάρος, το οποίο θεωρήθηκε ίσο με 0.05. Στο ακόλουθο διάγραμμα της εικόνας 7.1 αντιστοιχίζεται το βάρος κάθε κριτηρίου:



**Εικόνα 7.1 Διάγραμμα βαρών**

Αξιοποιώντας τις παραπάνω πληροφορίες και το κεφάλαιο 6, το οποίο εξηγεί πλήρως τον τρόπο λειτουργίας της πολυκριτηριακής μεθόδου Promethee II, ακολουθεί στις επόμενες 2 παραγράφους η εφαρμογή της, για τις δράσεις που έγιναν στις αίθουσες 001 και 007. Τα κριτήρια, οι δράσεις και τα βάρη εισήχθησαν ως δεδομένα στο εμπορικό

λογισμικό Visual Promethee και στο Microsoft Excel και υπολογίστηκαν μέσω αυτών οι ζητούμενες ροές προτίμησης, οι οποίες κατατάσσουν τις διατάξεις των φωτιστικών σωμάτων από το 1<sup>ο</sup> (βέλτιστη εγκατάσταση) μέχρι το 9<sup>ο</sup>. Επίσης, μελετάται ξεχωριστά, με αντίστοιχα διαγράμματα που δημιουργεί το λογισμικό, το προφίλ των βαρών στην κάθε δράση και αξιολογείται αντίστοιχα η επίδραση του κάθε κριτηρίου ξεχωριστά σε κάθε μία.

### 7.3 Εφαρμογή της μεθόδου στα αποτελέσματα των μετρήσεων της αίθουσας 001

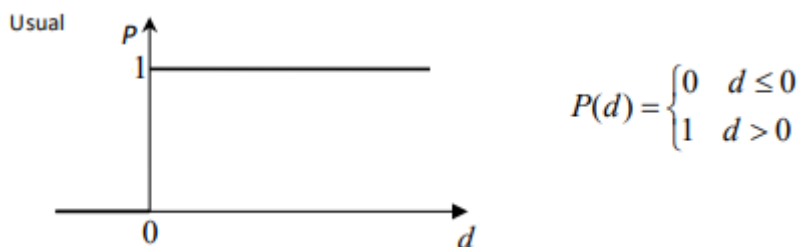
Η υλοποίηση της Promethee II στην αίθουσα 001 γίνεται με βάση τα κριτήρια και τις δράσεις, που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 7.2 και αφορούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των προσομοιώσεων, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5. Ο πίνακας 7.5 των κριτηρίων σε σχέση με τις δράσεις για την αίθουσα 001 είναι ο εξής:

Πίνακας 7.5 Τιμή κριτηρίων ανά δράση στην αίθουσα 001

Δράση	Κριτήριο							
	$E_{m,εδράνων}$ (lux)	$U_{o,εδράνων}$	$E_{m,πίνακα}$ (lux)	$U_{o,πίνακα}$	UGR	CRI	P (W)	Κόστος (€)
A	573	0.64	509	0.77	18.2	80	740	1950
B	583	0.60	506	0.79	18.1	80	700	3180
Γ	561	0.65	512	0.79	18.4	80	720	3260
Δ	547	0.64	502	0.77	18.9	80	740	4260
E	582	0.69	504	0.76	18.5	80	648	2954
Z	573	0.62	508	0.76	16.2	80	708	5700
H	563	0.66	514	0.74	17.8	80	600	6600
Θ	572	0.62	501	0.70	13.6	80	700	3118
I	572	0.61	504	0.75	15.5	80	750	4000
BAPH	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.10	0.25	0.25

(Στην τελευταία γραμμή του πίνακα αναγράφονται τα αντίστοιχα βάρη).

Ο τύπος γενικευμένου κριτηρίου που χρησιμοποιήθηκε για τα 8 κριτήρια είναι ο τύπος I (usual) από το τυπολόγιο γενικευμένων κριτηρίων του κεφαλαίου 6. Δηλαδή:



Ακολούθως παρατίθενται οι πίνακες με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα κατά την εκτέλεση της μεθόδου για την αίθουσα 001, μέσω του Microsoft Excel. Σύμφωνα με τη θεωρία που παρατέθηκε στο κεφάλαιο 6 για την Promethee II, οι πίνακες διαφορών  $d_j = g(a) - g(b)$  για κάθε κριτήριο  $j$ , ανάλογα με το αν αυτό είναι αύξον ή φθίνον (max και min, όπως αντιστοιχίστηκαν και στην παράγραφο 7.2), είναι οι εξής:

**Πίνακας 7.6 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=1 στην αίθουσα 001**

dK1		573	583	561	547	582	573	563	572	572
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
573	A	0	-10	12	26	-9	0	10	1	1
583	B	10	0	22	36	1	10	20	11	11
561	Γ	-12	-22	0	14	-21	-12	-2	-11	-11
547	Δ	-26	-36	-14	0	-35	-26	-16	-25	-25
582	E	9	-1	21	35	0	9	19	10	10
573	Z	0	-10	12	26	-9	0	10	1	1
563	H	-10	-20	2	16	-19	-10	0	-9	-9
572	Θ	-1	-11	11	25	-10	-1	9	0	0
572	I	-1	-11	11	25	-10	-1	9	0	0

**Πίνακας 7.7 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=2 στην αίθουσα 001**

dK2		0.64	0.6	0.65	0.64	0.69	0.62	0.66	0.62	0.61
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
0.64	A	0	0.04	-0.01	0	-0.05	0.02	-0.02	0.02	0.03
0.6	B	-0.04	0	-0.05	-0.04	-0.09	-0.02	-0.06	-0.02	-0.01
0.65	Γ	0.01	0.05	0	0.01	-0.04	0.03	-0.01	0.03	0.04
0.64	Δ	0	0.04	-0.01	0	-0.05	0.02	-0.02	0.02	0.03
0.69	E	0.05	0.09	0.04	0.05	0	0.07	0.03	0.07	0.08
0.62	Z	-0.02	0.02	-0.03	-0.02	-0.07	0	-0.04	0	0.01
0.66	H	0.02	0.06	0.01	0.02	-0.03	0.04	0	0.04	0.05
0.62	Θ	-0.02	0.02	-0.03	-0.02	-0.07	0	-0.04	0	0.01
0.61	I	-0.03	0.01	-0.04	-0.03	-0.08	-0.01	-0.05	-0.01	0

**Πίνακας 7.8 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=3 στην αίθουσα 001**

dK3		509	502	512	502	504	508	514	501	504
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
509	A	0	7	-3	7	5	1	-5	8	5
502	B	-7	0	-10	0	-2	-6	-12	1	-2
512	Γ	3	10	0	10	8	4	-2	11	8
502	Δ	-7	0	-10	0	-2	-6	-12	1	-2
504	E	-5	2	-8	2	0	-4	-10	3	0
508	Z	-1	6	-4	6	4	0	-6	7	4
514	H	5	12	2	12	10	6	0	13	10
501	Θ	-8	-1	-11	-1	-3	-7	-13	0	-3
504	I	-5	2	-8	2	0	-4	-10	3	0

**Πίνακας 7.9 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=4 στην αίθουσα 001**

dK4		0.77	0.79	0.79	0.77	0.76	0.76	0.74	0.7	0.75
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
0.77	A	0	-0.02	-0.02	0	0.01	0.01	0.03	0.07	0.02
0.79	B	0.02	0	0	0.02	0.03	0.03	0.05	0.09	0.04
0.79	Γ	0.02	0	0	0.02	0.03	0.03	0.05	0.09	0.04
0.77	Δ	0	-0.02	-0.02	0	0.01	0.01	0.03	0.07	0.02
0.76	E	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	0	0	0.02	0.06	0.01
0.76	Z	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	0	0	0.02	0.06	0.01
0.74	H	-0.03	-0.05	-0.05	-0.03	-0.02	-0.02	0	0.04	-0.01
0.7	Θ	-0.07	-0.09	-0.09	-0.07	-0.06	-0.06	-0.04	0	-0.05
0.75	I	-0.02	-0.04	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	0.01	0.05	0

**Πίνακας 7.10 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=5 στην αίθουσα 001**

dK5		18.2	18.1	18.4	18.9	18.5	16.2	17.8	13.6	15.5
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
18.2	A	0	-0.1	0.2	0.7	0.3	-2	-0.4	-4.6	-2.7
18.1	B	0.1	0	0.3	0.8	0.4	-1.9	-0.3	-4.5	-2.6
18.4	Γ	-0.2	-0.3	0	0.5	0.1	-2.2	-0.6	-4.8	-2.9
18.9	Δ	-0.7	-0.8	-0.5	0	-0.4	-2.7	-1.1	-5.3	-3.4
18.5	E	-0.3	-0.4	-0.1	0.4	0	-2.3	-0.7	-4.9	-3
16.2	Z	2	1.9	2.2	2.7	2.3	0	1.6	-2.6	-0.7
17.8	H	0.4	0.3	0.6	1.1	0.7	-1.6	0	-4.2	-2.3
13.6	Θ	4.6	4.5	4.8	5.3	4.9	2.6	4.2	0	1.9
15.5	I	2.7	2.6	2.9	3.4	3	0.7	2.3	-1.9	0

**Πίνακας 7.11 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=6 στην αίθουσα 001**

dK6		80	80	80	80	80	80	80	80	80
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
80	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Γ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Πίνακας 7.12 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=7 στην αίθουσα 001**

dK7		740	700	720	740	648	708	60	700	750
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
740	A	0	-40	-20	0	-92	-32	-680	-40	10
700	B	40	0	20	40	-52	8	-640	0	50
720	Γ	20	-20	0	20	-72	-12	-660	-20	30
740	Δ	0	-40	-20	0	-92	-32	-680	-40	10
648	E	92	52	72	92	0	60	-588	52	102
708	Z	32	-8	12	32	-60	0	-648	-8	42
60	H	680	640	660	680	588	648	0	640	690
700	Θ	40	0	20	40	-52	8	-640	0	50
750	I	-10	-50	-30	-10	-102	-42	-690	-50	0

**Πίνακας 7.13 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=8 στην αίθουσα 001**

dK8		1950	3180	3260	4260	2954	5700	6600	3118	4000
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
1950	A	0	1230	1310	2310	1004	3750	4650	1168	2050
3180	B	-1230	0	80	1080	-226	2520	3420	-62	820
3260	Γ	-1310	-80	0	1000	-306	2440	3340	-142	740
4260	Δ	-2310	-1080	-1000	0	-1306	1440	2340	-1142	-260
2954	E	-1004	226	306	1306	0	2746	3646	164	1046
5700	Z	-3750	-2520	-2440	-1440	-2746	0	900	-2582	-1700
6600	H	-4650	-3420	-3340	-2340	-3646	-900	0	-3482	-2600
3118	Θ	-1168	62	142	1142	-164	2582	3482	0	882
4000	I	-2050	-820	-740	260	-1046	1700	2600	-882	0

Αντιστοίχως για κάθε κριτήριο, ο δείκτης προτίμησης  $P_j$ , με βάση τον τύπο γενικευμένου κριτηρίου I, που ισχύει σε όλα τα κριτήρια της Promethee II για τα 8 υπό μελέτη κριτήρια, είναι ο εξής για κάθε κριτήριο j:

**Πίνακας 7.14 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=1 στην αίθουσα 001**

K1	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	1	1	0	0	1	1	1
B	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Γ	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	1	0	1	1	0	1	1	1	1
Z	0	0	1	1	0	0	1	1	1
H	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Θ	0	0	1	1	0	0	1	0	0
I	0	0	1	1	0	0	1	0	0

**Πίνακας 7.15 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=2 στην αίθουσα 001**

K2	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	1	0	0	0	1	0	1	1
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Γ	1	1	0	1	0	1	0	1	1
Δ	0	1	0	0	0	1	0	1	1
E	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Z	0	1	0	0	0	0	0	0	1
H	1	1	1	1	0	1	0	1	1
Θ	0	1	0	0	0	0	0	0	1
I	0	1	0	0	0	0	0	0	0

**Πίνακας 7.16 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=3 στην αίθουσα 001**

K3	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	1	0	1	1	1	0	1	1
B	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Γ	1	1	0	1	1	1	0	1	1
Δ	0	0	0	0	0	0	0	1	0
E	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Z	0	1	0	1	1	0	0	1	1
H	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	1	0	1	0	0	0	1	0

**Πίνακας 7.17 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=4 στην αίθουσα 001**

K4	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	0	1	1	1	1	1
B	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Γ	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Δ	0	0	0	0	1	1	1	1	1
E	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Z	0	0	0	0	0	0	1	1	1
H	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	1	1	0



**Πίνακας 7.18 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=5 στην αίθουσα 001**

K5	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	1	1	1	0	0	0	0
B	1	0	1	1	1	0	0	0	0
Γ	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Z	1	1	1	1	1	0	1	0	0
H	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Θ	1	1	1	1	1	1	1	0	1
I	1	1	1	1	1	1	1	0	0

**Πίνακας 7.19 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=6 στην αίθουσα 001**

K6	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Γ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Πίνακας 7.20 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=7 στην αίθουσα 001**

K7	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	0	0	0	0	0	1
B	1	0	1	1	0	1	0	0	1
Γ	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	1
E	1	1	1	1	0	1	0	1	1
Z	1	0	1	1	0	0	0	0	1
H	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Θ	1	0	1	1	0	1	0	0	1
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Πίνακας 7.21 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=8 στην αίθουσα 001**

K8	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	1	1	1	1	1	1	1	1
B	0	0	1	1	0	1	1	0	1
Γ	0	0	0	1	0	1	1	0	1
Δ	0	0	0	0	0	1	1	0	0
E	0	1	1	1	0	1	1	1	1
Z	0	0	0	0	0	0	1	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Θ	0	1	1	1	0	1	1	0	1
I	0	0	0	1	0	1	1	0	0

Επειδή οι τιμές των CRI όλων των επιλεγμένων φωτιστικών είναι ίσες με 80, λόγω του συγκεκριμένου τύπου που πρέπει να έχουν, ώστε να εξυπηρετούν τις απαιτήσεις της εφαρμογής τους με βάση το πρότυπο EN 12464-1, όλοι οι πίνακες διαφορών και οι αντίστοιχοι δείκτες προτίμησης, όπως φαίνεται παραπάνω, δίνουν μηδενικές τιμές, άρα πρακτικά το κριτήριο 6 έχει ουδέτερη επίδραση στα αποτελέσματα της Promethee II.

Ο βαθμός υπεροχής των σεναρίων παρατίθενται στον πίνακα 7.22 και προκύπτει σύμφωνα με τον αντίστοιχο τύπο που παρατέθηκε στο κεφάλαιο 6, σε συνδυασμό με τους δείκτες προτίμησης και τα αντίστοιχα βάρη του κάθε κριτηρίου:

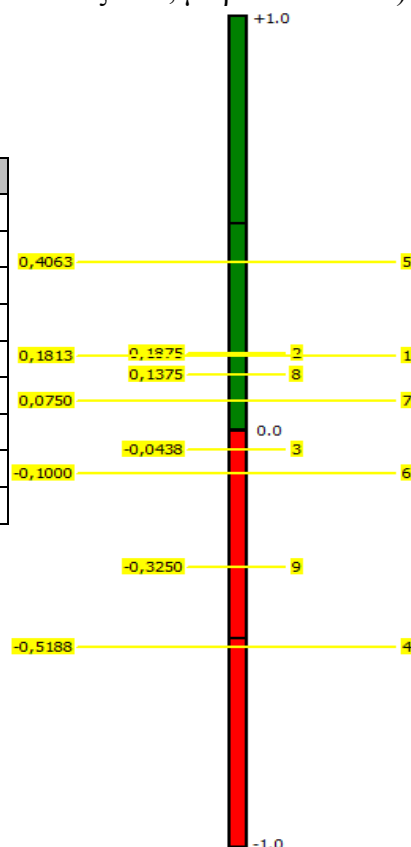
**Πίνακας 7.22 Πίνακας βαθμού υπεροχής για την αίθουσα 001**

$\pi[a,b]$	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0.4	0.45	0.55	0.5	0.45	0.4	0.55	0.8
B	0.5	0	0.7	0.75	0.25	0.65	0.4	0.25	0.65
Γ	0.45	0.15	0	0.9	0.25	0.45	0.3	0.2	0.7
Δ	0	0.05	0	0	0.05	0.35	0.3	0.2	0.35
E	0.4	0.65	0.65	0.85	0	0.65	0.45	0.8	0.7
Z	0.35	0.25	0.45	0.55	0.2	0	0.5	0.25	0.55
H	0.5	0.5	0.6	0.6	0.45	0.4	0	0.45	0.4
Θ	0.35	0.4	0.7	0.7	0.1	0.6	0.45	0	0.65
I	0.1	0.25	0.2	0.55	0.1	0.35	0.5	0.15	0

Οι θετικές ( $\Phi+(a)$ ) και αρνητικές ( $\Phi-(a)$ ) ροές προτίμησης των κριτηρίων, καθώς και η καθαρή ( $\Phi(a)$ ) ροή προτίμησης προκύπτουν από τους αντίστοιχους τύπους του κεφαλαίου 6. Η κατάταξη των κριτηρίων, που αποδίδει την τελική εικόνα για την εύρεση της βέλτιστης εγκατάστασης φωτιστικών για την αίθουσα 001, με κριτήριο την καθαρή ροή προτίμησης, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.23 και απεικονίζεται και στο διάγραμμα κατάταξης δράσεων της εικόνας 7.2 (από το 1 ως το 9, με βέλτιστο το 1):

**Πίνακας 7.23 Πίνακας κατάταξης δράσεων με βάση την καθαρή ροή προτίμησης για την αίθουσα 001**

Κατάταξη	Δράση	$\Phi(a)$	$\Phi+(a)$	$\Phi-(a)$
1	E	0.4063	0.6438	0.2375
2	B	0.1875	0.5188	0.3313
3	A	0.1813	0.5125	0.3313
4	Θ	0.1375	0.4938	0.3563
5	H	0.0750	0.4875	0.4125
6	Γ	-0.0438	0.4250	0.4688
7	Z	-0.1000	0.3875	0.4875
8	I	-0.3250	0.2750	0.6000
9	Δ	-0.5188	0.1625	0.6813

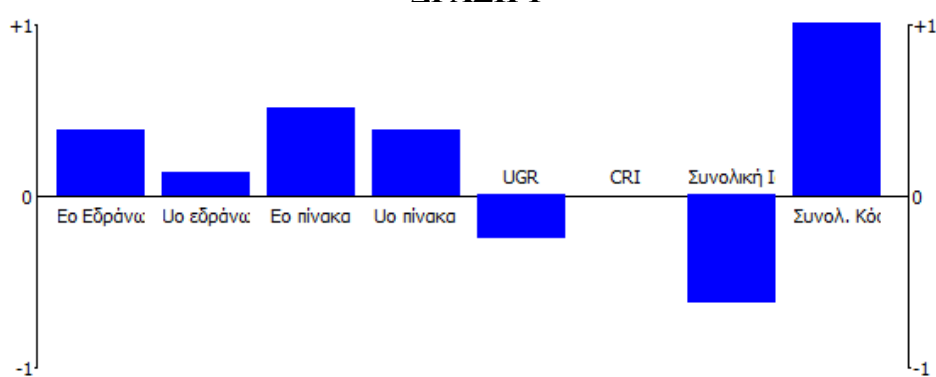


**Εικόνα 7.2 Διάγραμμα κατάταξης δράσεων της αίθουσας 001**

Το φωτιστικό, λοιπόν, που διασφαλίζει τη βέλτιστη εγκατάσταση στην αίθουσα 001, σύμφωνα με την Promethee II, είναι το **PEMP/600 LED 3700 32W 840 ET vw (60164034150)** της εταιρείας **REGIOLUX**, με καθαρή ροή προτίμησης 0.4188. Η διαφορά από το αμέσως επόμενο είναι 0.2188, καθώς η καθαρή ροή του δεύτερου, που είναι το Sidelite ECO 35 312102.002.1.76 της εταιρείας RZB, είναι 0.1875. Τα δύο χειρότερα φωτιστικά που θα μπορούσαν να επιλεγθούν είναι, σύμφωνα με την Promethee II, το Cleanline LED CZ17994 της εταιρείας Thorlux με καθαρή ροή - 0.3250 και το Gacrux II Eco MCD 37W 4000K FIX 60x60 (7842106796) της εταιρείας LEMVIGH-MÜLLER, με καθαρή ροή προτίμησης -0.5188. Συνολικά 5 φωτιστικά παρουσιάζουν θετικό  $\Phi(\alpha)$  και 4 αρνητικό.

Το προφίλ των δράσεων σε συνδυασμό με τα κριτήρια και το βάρος εμφανίζεται στα ακόλουθα διαγράμματα για τις εικόνες 7.3 ως 7.11:

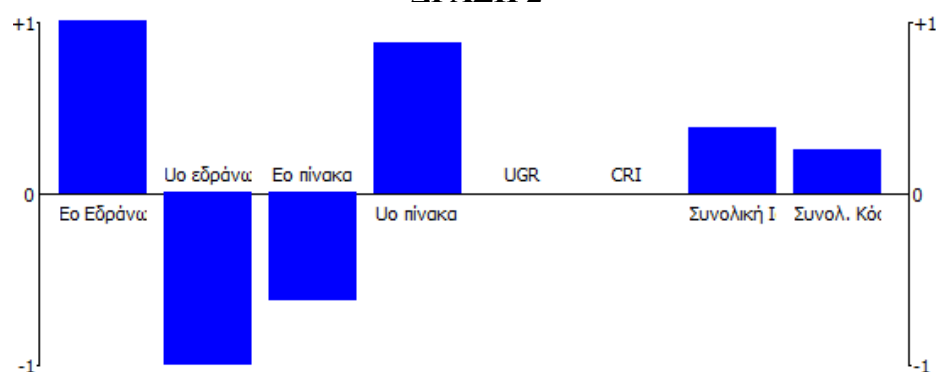
#### ΔΡΑΣΗ 1



Εικόνα 7.3 Προφίλ δράσης 1 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

Για το συγκεκριμένο φωτιστικό τα κριτήρια 1, 3, 4 και 8 είναι αυτά που μεγαλώνουν την τιμή της καθαρής ροής προτίμησης και το καθιστούν 3<sup>η</sup> καλύτερη επιλογή. Τα δύο κριτήρια που δεν το αφήνουν να αποτελέσει πιθανότατα τη βέλτιστη επιλογή και οι τιμές τους μειώνουν αντίστοιχα την  $\Phi(\alpha)$ , είναι πρωτίστως η συνολική καταναλισκόμενη ισχύς και έπειτα το UGR (7 και 5).

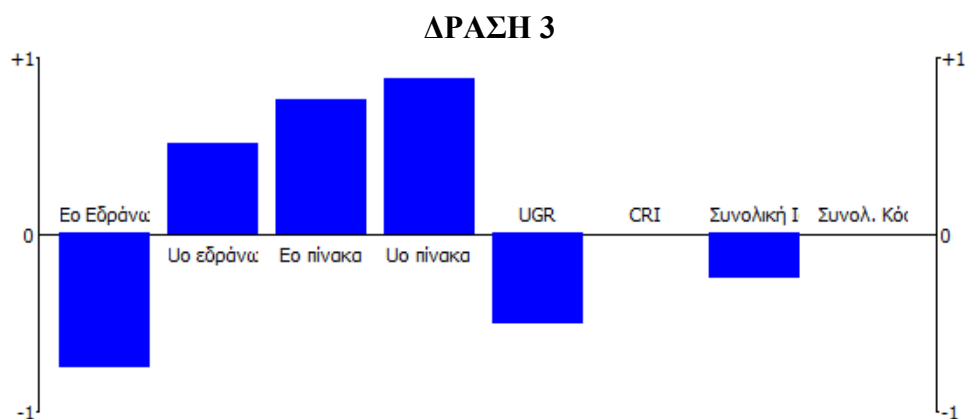
#### ΔΡΑΣΗ 2



Εικόνα 7.4 Προφίλ δράσης 2 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

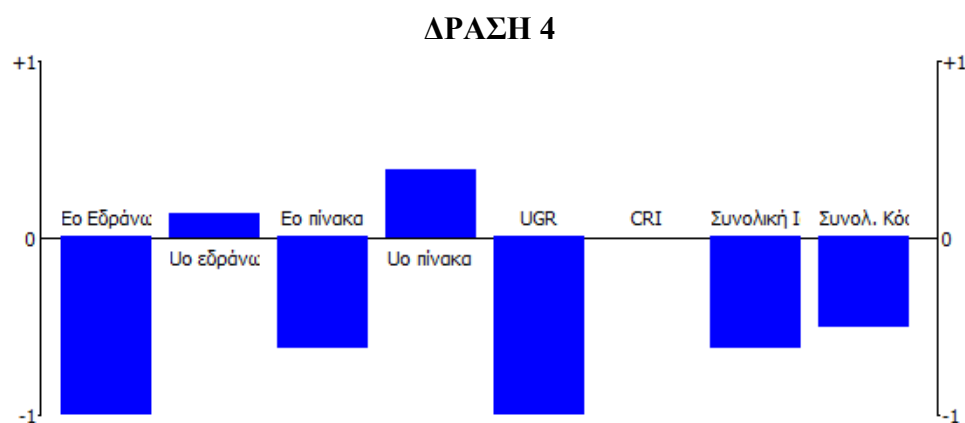
Για το συγκεκριμένο φωτιστικό, τα κριτήρια 1 και 4 έχουν τις υψηλότερες τιμές σε σχέση με αυτές των υπολοίπων φωτιστικών (583 lux και 0.79 αντίστοιχα). Τα κριτήρια

7 και 8 έχουν και αυτά θετική επίδραση, ενώ τα μόνα που λειτουργούν αρνητικά είναι τα κριτήρια 2 και 3, στα οποία οι τιμές είναι οριακά αποδεκτές, σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464-1, λαμβάνοντας χειρότερες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες δράσεις (0.60 και 502 lux). Αυτός είναι και ο λόγος που δεν καθίσταται η δράση αυτή ως η βέλτιστη λύση και παρόλη την αρνητική επίδραση των δύο αυτών κριτηρίων, αποτελεί τη 2<sup>η</sup> καλύτερη επιλογή.



Εικόνα 7.5 Προφίλ δράσης 3 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

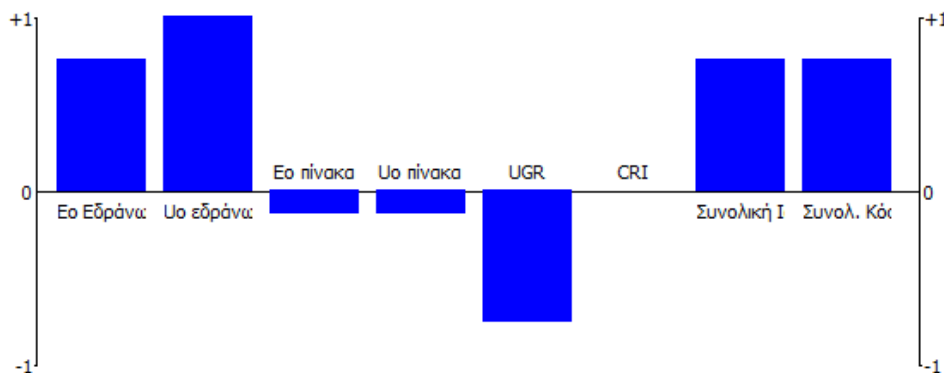
Για το συγκεκριμένο φωτιστικό αρνητική συμβολή στην καθαρή ροή έχουν τα κριτήρια 1 και 4, καθώς οι τιμές τους είναι χειρότερες από πολλά άλλα κριτήρια. Η Eo που αποδίδεται στο επίπεδο των εδράνων έχει τη δεύτερη μικρότερη τιμή (561 lux). Το γεγονός αυτό καθιστά το φωτιστικό αυτό μία μέτρια επιλογή για την αίθουσα 001, καθώς σχεδόν όλα τα υπόλοιπα κριτήρια έχουν θετική επίδραση. Ιδιαίτερα, όσον αφορά το κριτήριο 4, παρατηρείται, όπως και στη δράση 2, η μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες δράσεις (0.79).



Εικόνα 7.6 Προφίλ δράσης 4 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί τη χειρότερη επιλογή, καθώς μόνο οι δύο τιμές της ομοιομορφίας παρουσιάζουν θετική επίδραση στην καθαρή ροή. Όλα τα υπόλοιπα επιδρούν αρνητικά. Τα κριτήρια 1, 4 έχουν τις χειρότερες τιμές συγκριτικά με όλες τις υπόλοιπες δράσεις (547 lux και 18.9 αντίστοιχα), ενώ το κριτήριο 3 έχει τη δεύτερη χειρότερη τιμή με 502 lux.

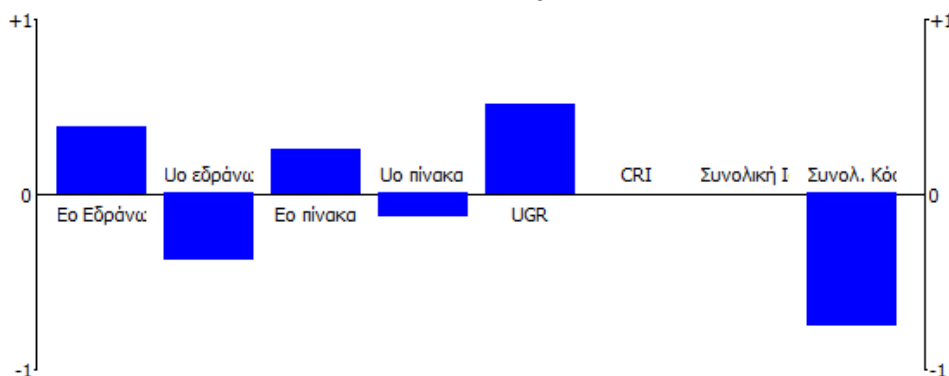
### ΔΡΑΣΗ 5



Εικόνα 7.7 Προφίλ δράσης 5 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί την καλύτερη επιλογή, καθώς έχει την καλύτερη τιμή στο κριτήριο 2 (0.69) και έχει και από τις καλύτερες τιμές στα κριτήρια 1, 7 και 8, συγκριτικά με τα υπόλοιπα φωτιστικά. Το μόνο κριτήριο που έχει μία ουσιαστική αρνητική επίδραση στην καθαρή ροή είναι η τιμή του UGR (18.5).

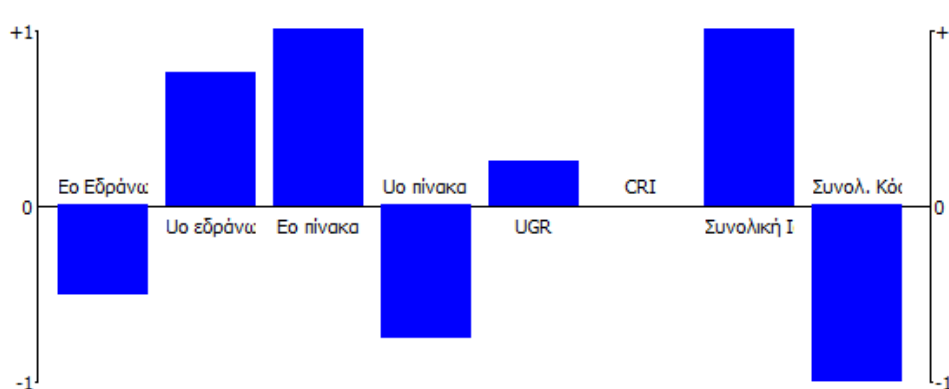
### ΔΡΑΣΗ 6



Εικόνα 7.8 Προφίλ δράσης 6 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

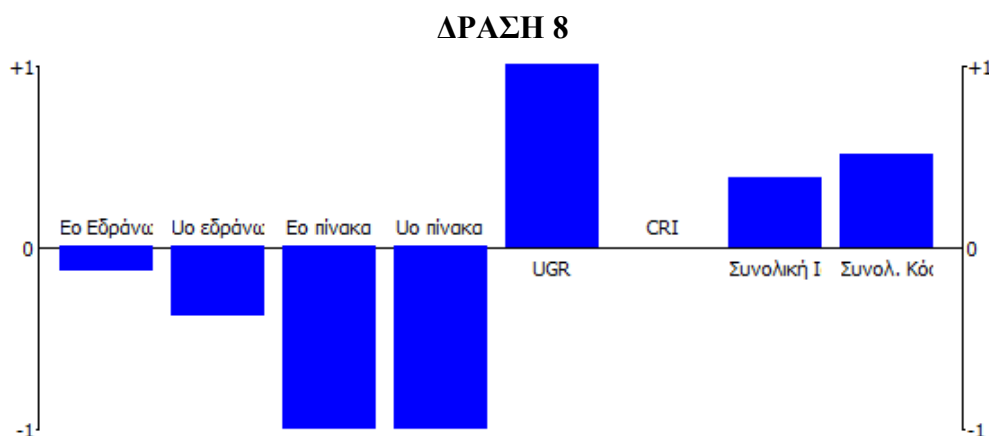
Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί την 3<sup>η</sup> χειρότερη επιλογή, καθώς τα περισσότερα κριτήρια έχουν μικρή θετική επίδραση στην καθαρή ροή, ενώ τα κριτήρια 2 και 8 είναι αυτά που επιδρούν αρνητικά, καθώς λαμβάνουν τιμή ανάμεσα στις χειρότερες πιθανές, συγκριτικά με τις υπόλοιπες δράσεις (0.62 και 5700 ευρώ αντίστοιχα).

### ΔΡΑΣΗ 7



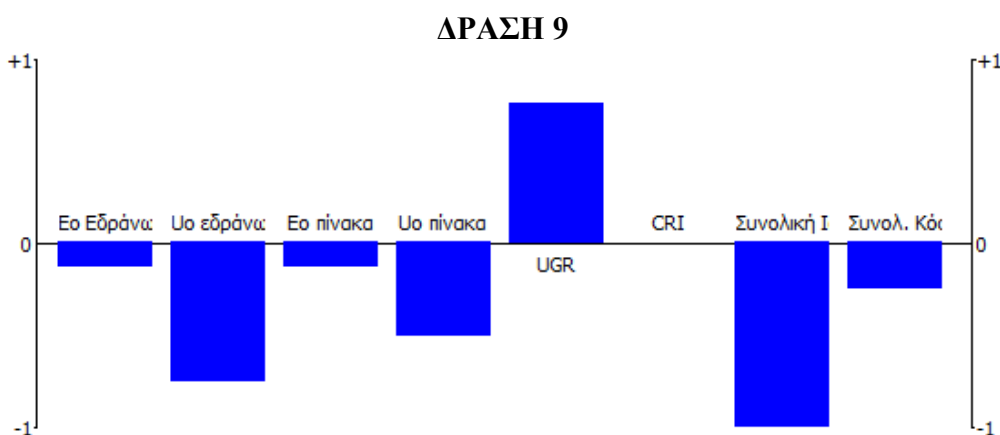
Εικόνα 7.9 Προφίλ δράσης 7 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί μία μέτρια επιλογή. Σε αντίθεση με τη δράση 6, στην οποία παρουσιάζουν τα κριτήρια μία σχετική ισορροπία στην επίδραση της καθαρής ροής, στη δράση 7 παρατηρούνται ακραίες τιμές σε 3 κριτήρια. Στο κριτήριο 3 και 7 παρατηρούνται οι 2 βέλτιστες τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες δράσεις (514 lux και 600 W αντίστοιχα), ενώ στο κριτήριο 8 παρατηρείται η χειρότερη τιμή (6600 ευρώ). Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η ελάχιστη δυνατή ισχύς που θα καταναλώνουν τα φωτιστικά που θα εγκατασταθούν είναι δυνατόν να επιτευχθεί με το μέγιστο δυνατό κόστος. Τα υπόλοιπα κριτήρια έχουν κατά κύριο λόγο μία μέση θετική ή αρνητική αντίδραση αντίστοιχα.



Εικόνα 7.10 Προφίλ δράσης 8 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί μία εξίσου μέτρια επιλογή. Όπως και στη δράση 7, έτσι και στην περίπτωση αυτή, παρατηρούνται 3 ακραίες τιμές. Η τιμή της έντασης φωτισμού και της ομοιομορφίας στο επίπεδο του πίνακα είναι οι 2 χαμηλότερες πιθανές (501 lux και 0.70 αντίστοιχα) και θεωρούνται οριακά αποδεκτές με βάση το πρότυπο EN 12464-1. Παρόλα αυτά, η θετική επίδραση των κριτηρίων 7 και 8 σε συνδυασμό με την βέλτιστη δυνατή τιμή του UGR (13.6), η οποία είναι η χαμηλότερη ανάμεσα στις 9 δράσεις, καθιστούν της δράση αυτή ως την 4<sup>η</sup> καλύτερη επιλογή φωτιστικού.



Εικόνα 7.11 Προφίλ δράσης 9 της αίθουσας 001 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί τη 2<sup>η</sup> χειρότερη πιθανή επιλογή, καθώς χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη δυνατή καταναλισκόμενη ισχύ (750 W), ενώ η ομοιομορφία που προκύπτει στο επίπεδο εργασίας των εδράνων είναι η μικρότερη (0.61), μετά από αυτή της δράσεως 2. Τη μόνη υψηλή θετική επίδραση στην καθαρή ροή προσδίδει ο δείκτης UGR (15.5), ενώ τα υπόλοιπα κριτήρια έχουν πολύ μικρή επιρροή στη μεταβολή της.

## 7.4 Εφαρμογή της μεθόδου στα αποτελέσματα των μετρήσεων της αίθουσας 007

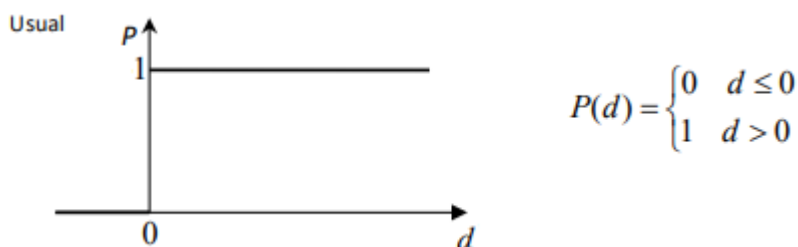
Η υλοποίηση της Promethee II στην αίθουσα 007 γίνεται με βάση τα κριτήρια και τις δράσεις, που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 7.2 και αφορούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των προσομοιώσεων, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5. Ο πίνακας 7.24 των κριτηρίων σχετικά με τις δράσεις για την αίθουσα 007 είναι ο εξής:

Πίνακας 7.24 Τιμή κριτηρίων ανά δράση στην αίθουσα 007

Δράση	Κριτήριο							
	$E_{m,εδράνων}$ (lux)	$U_{o,εδράνων}$	$E_{m,πίνακα}$ (lux)	$U_{o,πίνακα}$	UGR	CRI	P (W)	Κόστος (€)
A	519	0.61	501	0.78	15.6	80	434	4170
B	546	0.64	511	0.78	18	80	460	5000
Γ	565	0.65	532	0.87	14.7	80	575	6875
Δ	507	0.67	502	0.82	18.3	80	480	3105
E	531	0.61	535	0.88	15.9	80	440	2320
Z	538	0.74	517	0.84	18.7	80	594	2394
H	545	0.70	503	0.80	17.7	80	594	4050
Θ	569	0.71	526	0.84	18.5	80	653.4	1562.4
I	531	0.68	513	0.83	14.8	80	560	4800
BAPH	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.10	0.25	0.25

(Στην τελευταία γραμμή του πίνακα αναγράφονται τα αντίστοιχα βάρη).

Ο τύπος γενικευμένου κριτηρίου που χρησιμοποιήθηκε για τα 8 κριτήρια είναι ο τύπος I (usual) από το τυπολόγιο γενικευμένων κριτηρίων του κεφαλαίου 6. Δηλαδή:



Ακολουθώντας παρατίθενται οι πίνακες με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα κατά την εκτέλεση της μεθόδου για την αίθουσα 007, μέσω του Microsoft Excel. Σύμφωνα με τη θεωρία που παρατέθηκε στο κεφάλαιο 6 για την Promethee II, οι πίνακες διαφορών  $d_j = g(a) - g(b)$  για κάθε κριτήριο j, ανάλογα με το αν αυτό είναι αύξον ή φθίνον (max και min, όπως αντιστοιχίστηκαν και στην παράγραφο 7.2), είναι οι εξής:

**Πίνακας 7.25 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=1 στην αίθουσα 007**

dK1		519	546	565	507	531	538	545	569	531
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
519	A	0	-27	-46	12	-12	-19	-26	-50	-12
546	B	27	0	-19	39	15	8	1	-23	15
565	Γ	46	19	0	58	34	27	20	-4	34
507	Δ	-12	-39	-58	0	-24	-31	-38	-62	-24
531	E	12	-15	-34	24	0	-7	-14	-38	0
538	Z	19	-8	-27	31	7	0	-7	-31	7
545	H	26	-1	-20	38	14	7	0	-24	14
569	Θ	50	23	4	62	38	31	24	0	38
531	I	12	-15	-34	24	0	-7	-14	-38	0

**Πίνακας 7.26 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=2 στην αίθουσα 007**

dK2		0.61	0.64	0.65	0.67	0.61	0.74	0.7	0.71	0.68
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
0.61	A	0	-0.03	-0.04	-0.06	0	-0.13	-0.09	-0.1	-0.07
0.64	B	0.03	0	-0.01	-0.03	0.03	-0.1	-0.06	-0.07	-0.04
0.65	Γ	0.04	0.01	0	-0.02	0.04	-0.09	-0.05	-0.06	-0.03
0.67	Δ	0.06	0.03	0.02	0	0.06	-0.07	-0.03	-0.04	-0.01
0.61	E	0	-0.03	-0.04	-0.06	0	-0.13	-0.09	-0.1	-0.07
0.74	Z	0.13	0.1	0.09	0.07	0.13	0	0.04	0.03	0.06
0.7	H	0.09	0.06	0.05	0.03	0.09	-0.04	0	-0.01	0.02
0.71	Θ	0.1	0.07	0.06	0.04	0.1	-0.03	0.01	0	0.03
0.68	I	0.07	0.04	0.03	0.01	0.07	-0.06	-0.02	-0.03	0

**Πίνακας 7.27 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=3 στην αίθουσα 007**

dK3		501	511	532	502	535	517	503	526	513
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
501	A	0	-10	-31	-1	-34	-16	-2	-25	-12
511	B	10	0	-21	9	-24	-6	8	-15	-2
532	Γ	31	21	0	30	-3	15	29	6	19
502	Δ	1	-9	-30	0	-33	-15	-1	-24	-11
535	E	34	24	3	33	0	18	32	9	22
517	Z	16	6	-15	15	-18	0	14	-9	4
503	H	2	-8	-29	1	-32	-14	0	-23	-10
526	Θ	25	15	-6	24	-9	9	23	0	13
513	I	12	2	-19	11	-22	-4	10	-13	0

**Πίνακας 7.28 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=4 στην αίθουσα 007**

dK4		0.78	0.78	0.87	0.82	0.88	0.84	0.8	0.84	0.83
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
0.78	A	0	0	-0.09	-0.04	-0.1	-0.06	-0.02	-0.06	-0.05
0.78	B	0	0	-0.09	-0.04	-0.1	-0.06	-0.02	-0.06	-0.05
0.87	Γ	0.09	0.09	0	0.05	-0.01	0.03	0.07	0.03	0.04
0.82	Δ	0.04	0.04	-0.05	0	-0.06	-0.02	0.02	-0.02	-0.01
0.88	E	0.1	0.1	0.01	0.06	0	0.04	0.08	0.04	0.05
0.84	Z	0.06	0.06	-0.03	0.02	-0.04	0	0.04	0	0.01
0.8	H	0.02	0.02	-0.07	-0.02	-0.08	-0.04	0	-0.04	-0.03
0.84	Θ	0.06	0.06	-0.03	0.02	-0.04	0	0.04	0	0.01
0.83	I	0.05	0.05	-0.04	0.01	-0.05	-0.01	0.03	-0.01	0



**Πίνακας 7.29 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=5 στην αίθουσα 007**

dK5		15.6	18	14.7	18.3	15.9	18.7	17.7	18.5	14.8
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
15.6	A	0	2.4	-0.9	2.7	0.3	3.1	2.1	2.9	-0.8
18	B	-2.4	0	-3.3	0.3	-2.1	0.7	-0.3	0.5	-3.2
14.7	Γ	0.9	3.3	0	3.6	1.2	4	3	3.8	0.1
18.3	Δ	-2.7	-0.3	-3.6	0	-2.4	0.4	-0.6	0.2	-3.5
15.9	E	-0.3	2.1	-1.2	2.4	0	2.8	1.8	2.6	-1.1
18.7	Z	-3.1	-0.7	-4	-0.4	-2.8	0	-1	-0.2	-3.9
17.7	H	-2.1	0.3	-3	0.6	-1.8	1	0	0.8	-2.9
18.5	Θ	-2.9	-0.5	-3.8	-0.2	-2.6	0.2	-0.8	0	-3.7
14.8	I	0.8	3.2	-0.1	3.5	1.1	3.9	2.9	3.7	0

**Πίνακας 7.30 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=6 στην αίθουσα 007**

dK6		80	80	80	80	80	80	80	80	80
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
80	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Γ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Πίνακας 7.31 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=7 στην αίθουσα 007**

dK7		434	460	575	480	440	594	594	653.4	560
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
434	A	0	26	141	46	6	160	160	219.4	126
460	B	-26	0	115	20	-20	134	134	193.4	100
575	Γ	-141	-115	0	-95	-135	19	19	78.4	-15
480	Δ	-46	-20	95	0	-40	114	114	173.4	80
440	E	-6	20	135	40	0	154	154	213.4	120
594	Z	-160	-134	-19	-114	-154	0	0	59.4	-34
594	H	-160	-134	-19	-114	-154	0	0	59.4	-34
653.4	Θ	-219.4	-193.4	-78.4	-173.4	-213.4	-59.4	-59.4	0	-93.4
560	I	-126	-100	15	-80	-120	34	34	93.4	0

**Πίνακας 7.32 Πίνακας διαφορών για το κριτήριο j=8 στην αίθουσα 007**

dK8		4170	5000	6875	3105	2320	2394	4050	1562.4	4800
		A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
4170	A	0	830	2705	-1065	-1850	-1776	-120	-2607.6	630
5000	B	-830	0	1875	-1895	-2680	-2606	-950	-3437.6	-200
6875	Γ	-2705	-1875	0	-3770	-4555	-4481	-2825	-5312.6	-2075
3105	Δ	1065	1895	3770	0	-785	-711	945	-1542.6	1695
2320	E	1850	2680	4555	785	0	74	1730	-757.6	2480
2394	Z	1776	2606	4481	711	-74	0	1656	-831.6	2406
4050	H	120	950	2825	-945	-1730	-1656	0	-2487.6	750
1562.4	Θ	2607.6	3437.6	5312.6	1542.6	757.6	831.6	2487.6	0	3237.6
4800	I	-630	200	2075	-1695	-2480	-2406	-750	-3237.6	0

Αντιστοίχως για κάθε κριτήριο, ο δείκτης προτίμησης  $P_j$ , με βάση τον τύπο γενικευμένου κριτηρίου I, που ισχύει σε όλα τα κριτήρια της Promethee II για τα 8 υπό μελέτη κριτήρια, είναι ο εξής για κάθε κριτήριο j:

**Πίνακας 7.33 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=1 στην αίθουσα 007**

K1	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B	1	0	0	1	1	1	1	0	1
Γ	1	1	0	1	1	1	1	0	1
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Z	1	0	0	1	1	0	0	0	1
H	1	0	0	1	1	1	0	0	1
Θ	1	1	1	1	1	1	1	0	1
I	1	0	0	1	0	0	0	0	0

**Πίνακας 7.34 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=2 στην αίθουσα 007**

K2	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Γ	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Δ	1	1	1	0	1	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	1	1	1	1	1	0	1	1	1
H	1	1	1	1	1	0	0	0	1
Θ	1	1	1	1	1	0	1	0	1
I	1	1	1	1	1	0	0	0	0

**Πίνακας 7.35 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=3 στην αίθουσα 007**

K3	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Γ	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Δ	1	0	0	0	0	0	0	0	0
E	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Z	1	1	0	1	0	0	1	0	1
H	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Θ	1	1	0	1	0	1	1	0	1
I	1	1	0	1	0	0	1	0	0

**Πίνακας 7.36 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=4 στην αίθουσα 007**

K4	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Γ	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Δ	1	1	0	0	0	0	1	0	0
E	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Z	1	1	0	1	0	0	1	0	1
H	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Θ	1	1	0	1	0	0	1	0	1
I	1	1	0	1	0	0	1	0	0

**Πίνακας 7.37 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=5 στην αίθουσα 007**

K5	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	1	0	1	1	1	1	1	0
B	0	0	0	1	0	1	0	1	0
Γ	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Δ	0	0	0	0	0	1	0	1	0
E	0	1	0	1	0	1	1	1	0
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Θ	0	0	0	0	0	1	0	0	0
I	1	1	0	1	1	1	1	1	0

**Πίνακας 7.38 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=6 στην αίθουσα 007**

K6	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Γ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Πίνακας 7.39 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=7 στην αίθουσα 007**

K7	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	1	1	1	1	1	1	1	1
B	0	0	1	1	0	1	1	1	1
Γ	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Δ	0	0	1	0	0	1	1	1	1
E	0	1	1	1	0	1	1	1	1
Z	0	0	0	0	0	0	0	1	0
H	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	1	0	0	1	1	1	0

**Πίνακας 7.40 Πίνακας δείκτη προτίμησης για το κριτήριο j=8 στην αίθουσα 007**

K8	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	1	1	0	0	0	0	0	1
B	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Γ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ	1	1	1	0	0	0	1	0	1
E	1	1	1	1	0	1	1	0	1
Z	1	1	1	1	0	0	1	0	1
H	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Θ	1	1	1	1	1	1	1	0	1
I	0	1	1	0	0	0	0	0	0

Επειδή οι τιμές των CRI όλων των επιλεγμένων φωτιστικών είναι ίσες με 80, ομοίως και με την αίθουσα 001, όλοι οι πίνακες διαφορών και οι αντίστοιχοι δείκτες προτίμησης, όπως φαίνεται παραπάνω, δίνουν μηδενικές τιμές, άρα πρακτικά το κριτήριο 6 έχει ουδέτερη επίδραση στα αποτελέσματα της Promethee II και για τη συγκεκριμένη αίθουσα.

Ο βαθμός υπεροχής των σεναρίων παρατίθεται στον πίνακα 7.41 και προκύπτει σύμφωνα με τον αντίστοιχο τύπο που παρατέθηκε στο κεφάλαιο 6, σε συνδυασμό με τους δείκτες προτίμησης και τα αντίστοιχα βάρη του κάθε κριτηρίου:

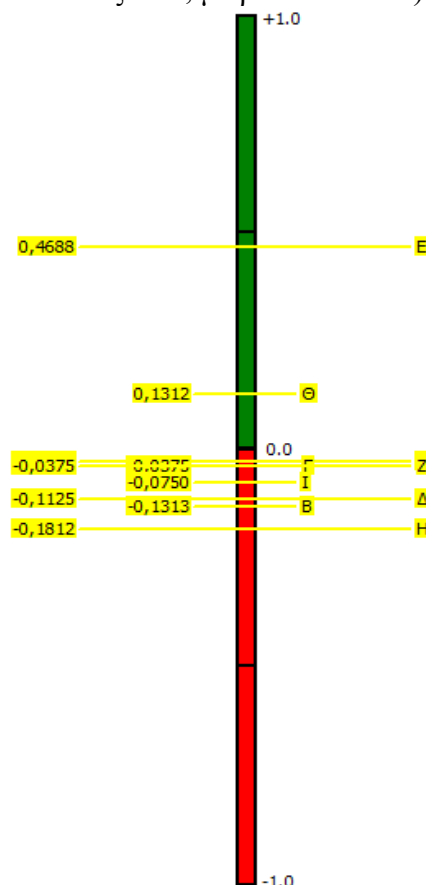
**Πίνακας 7.41 Πίνακας βαθμού υπεροχής για την αίθουσα 007**

$\pi[a,b]$	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I
A	0	0.6	0.5	0.45	0.35	0.35	0.35	0.35	0.5
B	0.25	0	0.5	0.55	0.15	0.45	0.45	0.35	0.35
Γ	0.4	0.4	0	0.35	0.25	0.6	0.6	0.5	0.35
Δ	0.45	0.35	0.55	0	0.05	0.35	0.55	0.35	0.5
E	0.5	0.75	0.65	0.85	0	0.75	0.75	0.5	0.65
Z	0.55	0.45	0.3	0.55	0.15	0	0.45	0.3	0.55
H	0.55	0.45	0.3	0.35	0.15	0.2	0	0.35	0.4
Θ	0.55	0.55	0.4	0.55	0.4	0.55	0.55	0	0.55
I	0.4	0.55	0.55	0.4	0.15	0.35	0.5	0.35	0

Οι θετικές ( $\Phi^+(a)$ ) και αρνητικές ( $\Phi^-(a)$ ) ροές προτίμησης των κριτηρίων, καθώς και η καθαρή ( $\Phi(a)$ ) ροή προτίμησης προκύπτουν από τους αντίστοιχους τύπους του κεφαλαίου 6. Η κατάταξη των κριτηρίων, που αποδίδει την τελική εικόνα για την εύρεση της βέλτιστης εγκατάστασης φωτιστικών για την αίθουσα 007, με κριτήριο την καθαρή ροή προτίμησης, παρουσιάζεται στον πίνακα 7.42 και απεικονίζεται και στο διάγραμμα κατάταξης δράσεων της εικόνας 7.12 (από το 1 ως το 9, με βέλτιστο το 1):

**Πίνακας 7.42 Πίνακας κατάταξης δράσεων με βάση την καθαρή ροή προτίμησης για την αίθουσα 007**

Κατάταξη	Δράση	$\Phi(a)$	$\Phi^+(a)$	$\Phi^-(a)$
1	E	0.4688	0.6750	0.2063
2	Θ	0.1313	0.5125	0.3813
3	A	-0.0250	0.4313	0.4563
4	Γ	-0.0375	0.4313	0.4688
5	Z	-0.0375	0.4125	0.4500
6	I	-0.0750	0.4063	0.4813
7	Δ	-0.1125	0.3938	0.5063
8	B	-0.1313	0.3813	0.5125
9	H	-0.1813	0.3438	0.5250

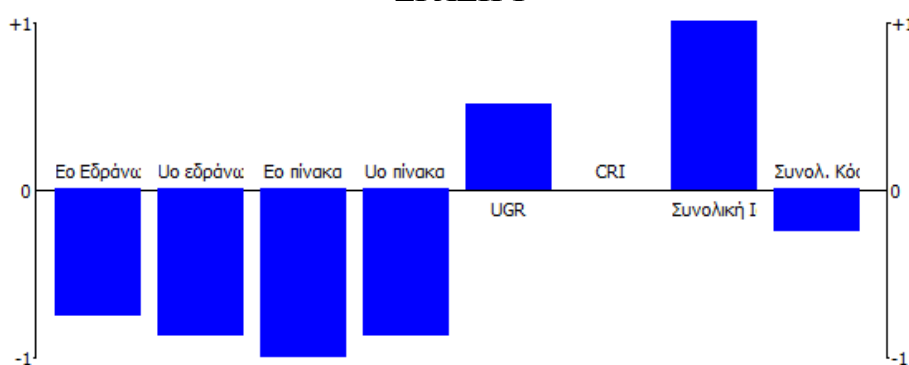


**Εικόνα 7.12 Διάγραμμα κατάταξης δράσεων της αίθουσας 007**

Το φωτιστικό, λοιπόν, που διασφαλίζει τη βέλτιστη εγκατάσταση στην αίθουσα 007, σύμφωνα με την Promethee II, είναι το **FREYN II 3100 lm 22W/84 LED 595x595 (7857002254)** της εταιρείας **LEMVIGH-MÜLLER**, με καθαρή ροή προτίμησης 0.4688. Η διαφορά από το αμέσως επόμενο είναι 0.3375, καθώς η καθαρή ροή του δεύτερου, που είναι το APOLLON 0MQ111723W1 της εταιρείας OSRAM, είναι 0.1313. Η καθαρή ροή προτίμησης των υπόλοιπων φωτιστικών είναι μικρότερη από το 0, αλλά όλες οι 7 αυτές τιμές δεν έχουν μεγάλο εύρος απόκλισης μεταξύ τους. Τα δύο χειρότερα φωτιστικά που θα μπορούσαν να επιλεγθούν είναι, σύμφωνα με την Promethee II, το GEO 3 2001.4132 της εταιρείας REGENT, με καθαρή ροή -0.1313 και το CORNELL CNL66444KZ της εταιρείας EATON, με καθαρή ροή προτίμησης -0.1813.

Το προφίλ των δράσεων σε συνδυασμό με τα κριτήρια και το βάρος εμφανίζεται στα ακόλουθα διαγράμματα για τις εικόνες 7.13 ως 7.21:

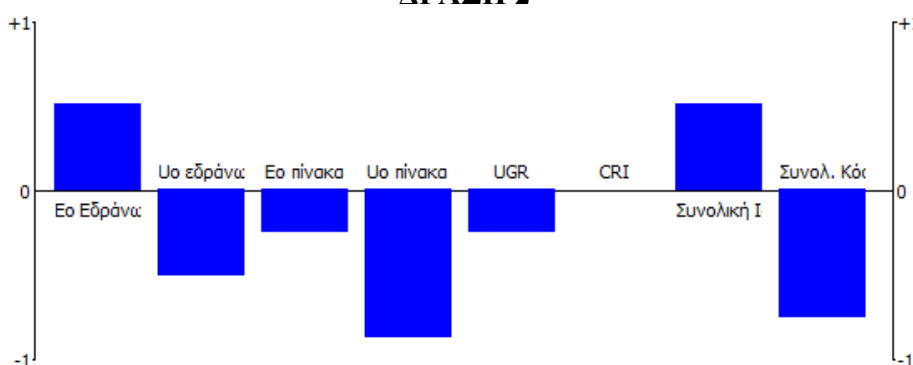
#### ΔΡΑΣΗ 1



Εικόνα 7.13 Προφίλ δράσης 1 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί την 3<sup>η</sup> αποδοτικότερη επιλογή. Παρουσιάζει 4 ακραίες τιμές, 3 αρνητικές στα κριτήρια 2, 3, 4 και μία θετική στο κριτήριο 7. Οι εντάσεις φωτισμού που αποδίδει στο επίπεδο εργασίας των εδράνων και του πίνακα, καθώς και οι αντίστοιχες ομοιομορφίες, χαρακτηρίζονται από τις μικρότερες δυνατές τιμές ανάμεσα στις 9 δράσεις, ικανοποιώντας οριακά τις προδιαγραφές του προτύπου EN 12464-1. Η θετική επίδραση όμως του κριτηρίου 7 και επίσης και η 2<sup>η</sup> χαμηλότερη τιμή UGR εγκατάστασης (15.6), δηλαδή το κριτήριο 5, καθιστούν τη συγκεκριμένη επιλογή φωτιστικού ως μία αξιολογη επιλογή, σε σχέση με τις υπόλοιπες.

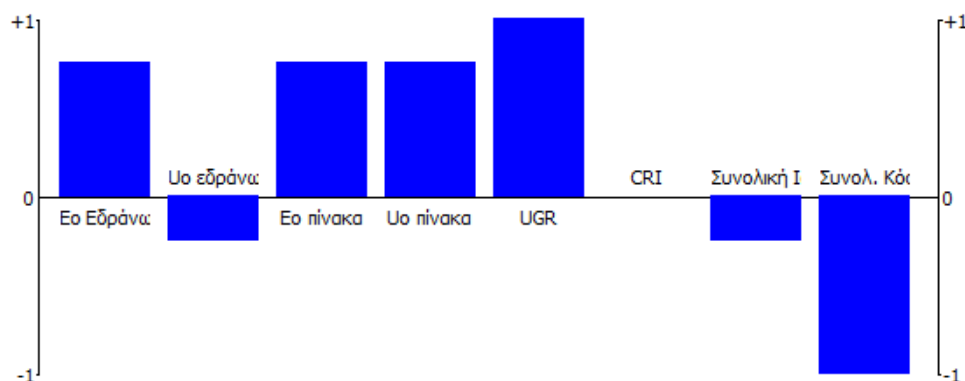
#### ΔΡΑΣΗ 2



Εικόνα 7.14 Προφίλ δράσης 2 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί τη 2<sup>η</sup> χειρότερη επιλογή. Πέρα από τη θετική επίδραση που παρέχουν τα κριτήρια 1 και 7, όλα τα υπόλοιπα έχουν αρνητική επίδραση στην τελική καθαρή ροή προτίμησης του φωτιστικού. Ιδιαίτερα η ομοιομορφία στο επίπεδο του πίνακα είναι η χαμηλότερη από όλα τα κριτήρια (0.78) και στο επίπεδο των εδράνων είναι η δεύτερη χαμηλότερη (0.64).

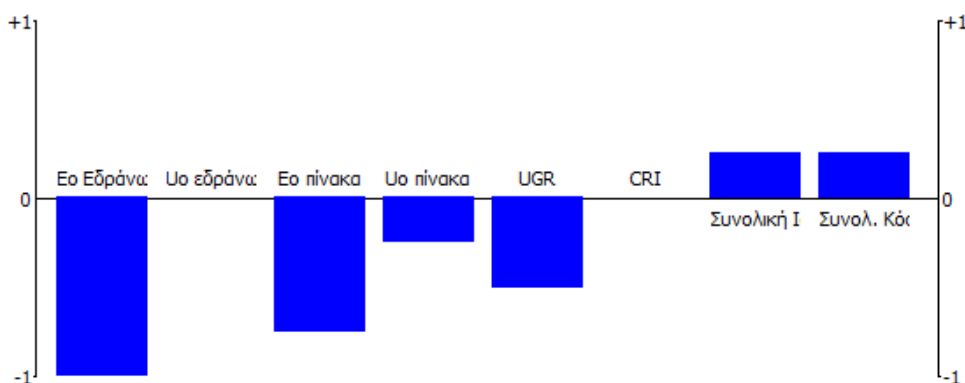
### ΔΡΑΣΗ 3



Εικόνα 7.15 Προφίλ δράσης 3 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

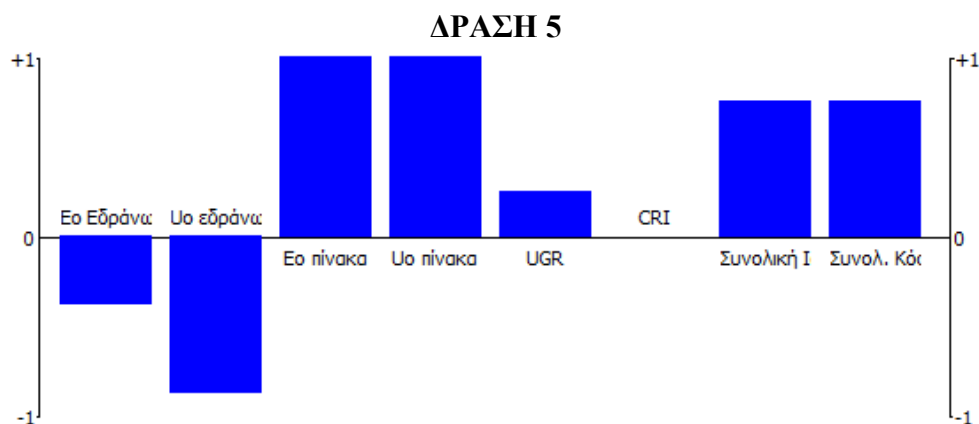
Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί μία μέτρια επιλογή. Το μόνο κριτήριο που έχει μεγάλη αρνητική επίδραση στην καθαρή ροή είναι το 8<sup>ο</sup>, καθώς έχει το μεγαλύτερο συνολικό κόστος εγκατάστασης, που αντιστοιχεί σε 6875 ευρώ, με διαφορά 1875 ευρώ από την αμέσως οικονομικότερη δράση. Τα κριτήρια 2 και 4 έχουν σχετικά μικρή αρνητική επίδραση, ενώ τα υπόλοιπα επιδρούν θετικά, σε σημαντικό βαθμό το καθένα, με μεγαλύτερη θετική επιρροή να παρουσιάζει το UGR της εγκατάστασης. Η τιμή του είναι χαμηλότερη από των υπολοίπων δράσεων (14.7).

### ΔΡΑΣΗ 4



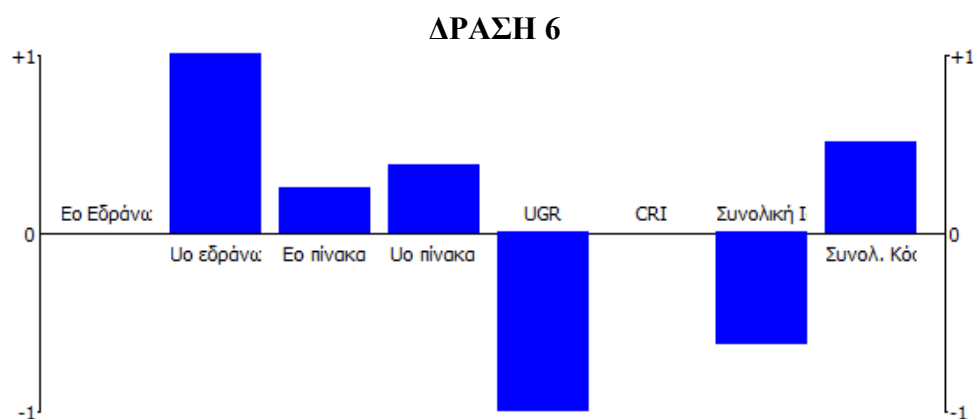
Εικόνα 7.16 Προφίλ δράσης 4 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί την 3<sup>η</sup> χειρότερη επιλογή. Εμφανής είναι η αδυναμία συγκριτικά με τις υπόλοιπες δράσεις, όσον αφορά τις εντάσεις φωτισμού στο επίπεδο εργασίας των εδράνων και του πίνακα (507 και 502 lux αντίστοιχα). Τα μόνα κριτήρια που παρουσιάζουν μία μικρή θετική επίδραση είναι τα 7 και 8. Επειδή έχουν το μεγαλύτερο βάρος συγκριτικά με τα υπόλοιπα, εξομαλύνουν λίγο την τελική τιμή του  $\Phi(\alpha)$ , χωρίς ωστόσο να το καθιστούν αποτελεσματική λύση σε καμία περίπτωση.



Εικόνα 7.17 Προφίλ δράσης 5 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό είναι με μεγάλη διαφορά η βέλτιστη επιλογή. Πέρα από τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά στο επίπεδο εργασίας των εδράνων και πιο συγκεκριμένα το κριτήριο 2, όπου έχει τη χαμηλότερη τιμή ομοιομορφίας (0.61), όλα τα υπόλοιπα κριτήρια έχουν ιδιαίτερα ικανοποιητικές τιμές. Στο επίπεδο του πίνακα εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη τιμή έντασης φωτισμού και ομοιομορφίας, σε σχέση με τα υπόλοιπα κριτήρια (535 lux και 0.88), ενώ ιδιαίτερα χαμηλές είναι οι τιμές στα κριτήρια 5, 7, 8, όπου επιζητείται ελαχιστοποίηση.

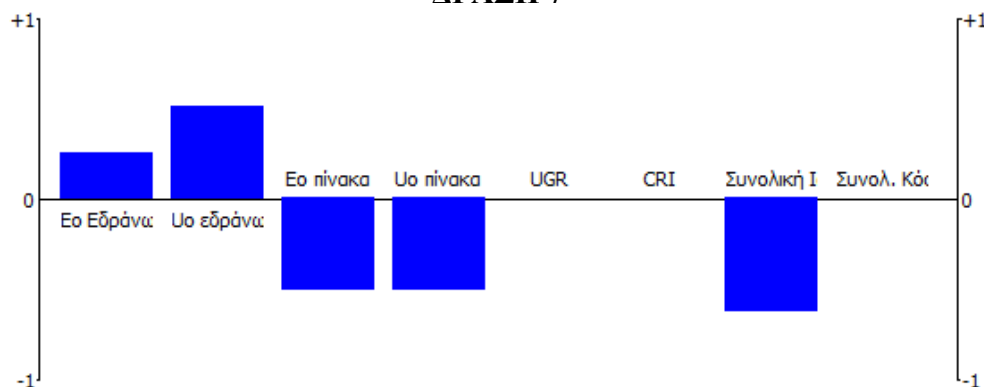


Εικόνα 7.18 Προφίλ δράσης 6 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί μια μέτρια επιλογή. Προκύπτουν δύο ακραίες τιμές για τα κριτήρια 2 και 5 (0.74 και 18.7), βέλτιστη και χειρότερη δυνατή αντίστοιχα, ανάμεσα στις 9 δράσεις που μελετώνται. Τα υπόλοιπα κριτήρια ισομοιράζονται ως προς τη θετική και αρνητική τους επίδραση και καθιστούν το φωτιστικό τελικά ως την 6<sup>η</sup> καλύτερη δυνατή επιλογή.



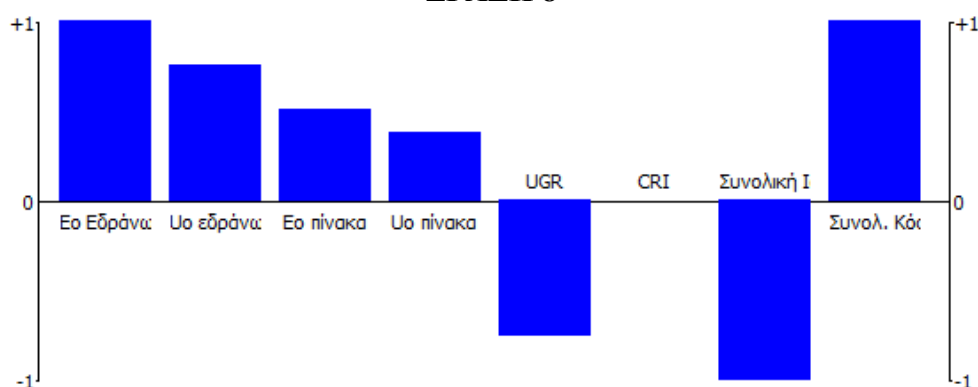
### ΔΡΑΣΗ 7



Εικόνα 7.19 Προφίλ δράσης 7 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

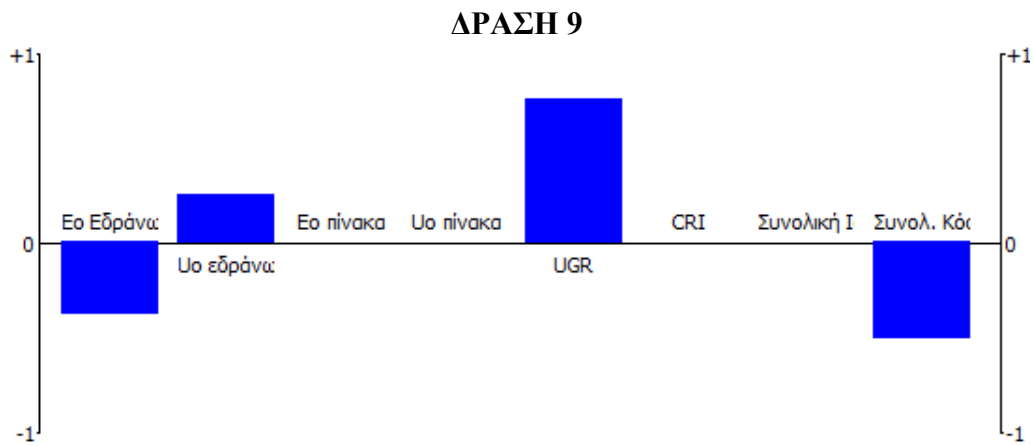
Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί τη χειρότερη επιλογή. Ενώ δεν παρουσιάζει κάποια ακραία αρνητική τιμή σε κάποιο κριτήριο, ως θετικές επιδράσεις στην καθαρή ροή προτιμήσεων λογίζονται σε μικρό βαθμό μόνο τα κριτήρια 1 και 2. Όλα τα υπόλοιπα είτε έχουν ουδέτερη επίδραση είτε επιδρούν αρνητικά. Πιο συγκεκριμένα στο επίπεδο του πίνακα για τα κριτήρια 3 και 4 παρατηρούνται στη δράση αυτή οι δεύτερες χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπα φωτιστικά (503 lux και 0.80).

### ΔΡΑΣΗ 8



Εικόνα 7.20 Προφίλ δράσης 8 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί τη δεύτερη καλύτερη επιλογή. Χαρακτηρίζεται από ακραίες τιμές με θετική επίδραση για τα κριτήρια 1 και 8 (569 lux και 1562.4 ευρώ) και από ακραία τιμή με αρνητική επίδραση για το κριτήριο 7 (653.4 W). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι εξασφαλίζει την μέγιστη δυνατή συνολική ισχύ που καταναλώνεται από τα φωτιστικά με το μικρότερο δυνατό κόστος από τα υπόλοιπα. Τα αποτελέσματα για τα μεγέθη Εο και Υο στο επίπεδο της επιφάνειας εργασίας των εδράνων και του πίνακα έχουν θετική επίδραση στην καθαρή ροή προτιμήσεων της δράσης και συνυπολογίζοντας ακόμα και την αρνητική επιρροή που έχει το κριτήριο 5, όπου παρατηρείται η 2<sup>η</sup> χειρότερη τιμή για το δείκτη UGR (18.5), εξάγεται το συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη εγκατάσταση φωτιστικών αποτελεί μία αποδοτική λύση.



**Εικόνα 7.21 Προφίλ δράσης 9 της αίθουσας 007 ως προς τα κριτήρια**

Το συγκεκριμένο φωτιστικό αποτελεί μία λιγότερο αποδοτική λύση σε σχέση με πέντε από τις υπόλοιπες. Πολλά κριτήρια έχουν ουδέτερη επίδραση στην καθαρή ροή προτίμησης της δράσης. Η θετική επίδραση εξασφαλίζεται κυρίως από το κριτήριο 5, το οποίο έχει τη δεύτερη χαμηλότερη τιμή (14.8). Επειδή τελικά αρνητική επίδραση δέχεται και από το κριτήριο 1 και από το 8 (531 lux και 4800 ευρώ), η τελική καθαρή ροή προτιμήσεων της δράσης είναι αρνητική και συνεπώς δεν αξιολογείται ως μία αποδοτική επιλογή εγκατάστασης φωτιστικών για την αίθουσα 007.



## Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα διπλωματική είναι τα εξής:

- Υπάρχει ανάγκη αντικατάστασης της παρούσας εγκατάστασης φωτιστικών στις αίθουσες 001 και 007, καθώς η ισχύς που καταναλώνουν είναι αρκετά μεγαλύτερη συγκριτικά με την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για όλες τις διατάξεις. Στην αίθουσα 001, συγκριτικά με την ήδη υπάρχουσα πραγματική κατανάλωση ισχύος, που είναι περίπου 1228.8 W, επιτυγχάνεται με τις υπό μελέτη διατάξεις μείωση κατανάλωσης από 33.6% έως και 95.1%, ενώ στην αίθουσα 007, που είναι περίπου 1536 W, επιτυγχάνεται μείωση από 57.5% έως και 71.4%.
- Η μέθοδος Promethee II αποτελεί πολύ σημαντικό εργαλείο στην πολυκριτηριακή αξιολόγηση δράσεων, καθώς συγκρίνει όλες τις επιθυμητές παραμέτρους και εξάγει ένα αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα, που ανταποκρίνεται στις προσδοκίες του εκάστοτε μελετητή-αποφασίζοντος για διάφορους χώρους μελέτης. Στο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, η εφαρμογή της μεθόδου συνέβαλε στην επιλογή της εγκατάστασης φωτιστικών, που θα εξασφάλιζε τη βέλτιστη ικανοποίηση των κριτηρίων που επιλέχθηκαν για τη μέθοδο σε κάθε αίθουσα. Τα βάρη που επιλέχθηκαν αναδεικνύουν την επιρροή που έχει το κάθε κριτήριο στην τελική επιλογή. Η μεγαλύτερη βαρύτητα αποδόθηκε στην ενεργειακή και οικονομική εξοικονόμηση, συγκριτικά με τα φωτοτεχνικά μεγέθη, που αξιολογήθηκαν με μικρότερα βάρη. Με βάση τα συγκεκριμένα δεδομένα, εξήχθησαν αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα στη μελέτη που διεξήχθη.
- Η βέλτιστη εγκατάσταση φωτισμού που προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου Promethee II για την αίθουσα 001 είναι τα φωτιστικά PEMP/600 LED 3700 32W 840 ET vw (60164034150) της εταιρείας REGIOLUX και για την αίθουσα 007 τα φωτιστικά FREYN II 3100 lm 22W/84 LED 595x595 (7857002254) της εταιρείας LEMVIGH-MÜLLER. Η τοποθέτησή τους με τον τρόπο που προσομοιώθηκε στο Relux, έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίσει βέλτιστη απόδοση στα ζητούμενα κριτήρια που θεσπίστηκαν και πέρα από οικονομική και ενεργειακή εξοικονόμηση να διασφαλίσει και τα απαιτούμενα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά, που δημιουργούν τις βέλτιστες συνθήκες διδασκαλίας στις δύο αίθουσες.
- Η αξιοποίηση φυσικού φωτισμού με ταυτόχρονα χρήση αισθητήρων παρουσίας και φωτός μπορεί να μειώσει ακόμα περισσότερο την κατανάλωση ενέργειας και να καλύψει τις ανάγκες των διαφόρων κτιριακών χώρων, χωρίς περιττές σπατάλες.
- Προκειμένου να είναι επαρκής η ένταση φωτισμού και η ομοιομορφία στις αίθουσες θα πρέπει να βρεθεί ο κατάλληλος συνδυασμός φωτιστικών, έτσι ώστε να διαθέτουν τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά και να επιτρέπεται παράλληλα να τοποθετηθούν με τον κατάλληλο τρόπο, ώστε να ικανοποιούνται πάντα οι απαιτήσεις του προτύπου EN 12464-1. Δεν αρκεί μόνο να καλύπτονται οι απαιτήσεις στο επίπεδο των εδράνων, αλλά θα πρέπει να ικανοποιούνται και στο επίπεδο του πίνακα ταυτόχρονα.

## Βιβλιογραφία

- [1] PHILIPS, «Φωτεινότερα σχολεία, φωτίζουμε ένα αειφόρο μέλλον για την παιδεία», Ιούλιος 2010.
- [2] L.T. Doulos, A. Kontadakis, E.N. Madias, M. Sinou, A. Tsangrassoulis, «Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems», *Energy & Buildings*, 2019.
- [3] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Η ΕΕ και Ενεργειακή Ένωση και κλιματική αλλαγή», Φεβρουάριος 2017.
- [4] Eurostat, «Energy production and imports, 2006-2016», Ιούλιος 2018.
- [5] Eurostat, «Consumption of Energy, 1990-2015», Ιούνιος 2017.
- [6] IENE, «Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, Ετήσια Έκθεση 2019», Φεβρουάριος 2019.
- [7] C. Patrão, «Energy Efficient Elevators and Escalators», Ιούνιος 2009.
- [8] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Energy consumption and energy efficiency trends in the EU-28 for the period 2000-2016», 2018.
- [9] «Οπτική άνεση και σχεδιασμός ανοιγμάτων στα σύγχρονα κτίρια», Αύγουστος 2012, <http://sunandshadow.gr/2012/08/οπτική-άνεση-και-σχεδιασμός-ανοιγμάτων/>.
- [10] Α.Π. Βαβάτσικος, «Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης αποφάσεων σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών με χρήση ασαφών πολυκριτήριων μεθόδων», Εκδόσεις ΔΠΘ, διδακτορική διατριβή, 2008.
- [11] Σ. Παπαναστασίου, «Πολυκριτηριακή μέθοδος αξιολόγησης σεναρίων εγκαταστάσεων φωτισμού στο Νέο Κτίριο Ηλεκτρολόγων Ε.Μ. Πολυτεχνείου», Εκδόσεις ΕΜΠ, διπλωματική εργασία, Δεκέμβριος 2013.
- [12] Ι. Δελαγραμμάτικας, Βελτιστοποιημένη σχεδίαση εγκατάστασης φωτισμού εσωτερικών χώρων με πολυκριτηριακές μεθόδους, Εκδόσεις ΕΜΠ, διπλωματική εργασία, Οκτώβριος 2017.
- [13] Ι. Σίσκος, «Μοντέλα Αποφάσεων», Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2008.
- [14] «licht.wissen No. 02 "Good Lighting for a Better Learning Environment», 2012, <http://www.licht.de>.
- [15] Χ. Αχίλλας & Γ. Μπανιάς, «Επισκόπηση Χρήσης Μεθόδων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης ως εργαλείο υποβοήθησης του λήπτη απόφασης», 2012.
- [16] Ε. Γ. Ναθαναήλ, «Διαδικασία πολυκριτήριας ανάλυσης Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος», 2016-17.
- [17] «Photosensor tutorial, Control Algorithm», Lighting Research Center of Rensselaer Polytechnic Institute, 2004
- [18] Relux Product Library, <https://reluxnet.relux.com/en/search/luminaires/gr/>.
- [19] «Βασικές Έννοιες Φωτισμού», <https://ils.com.gr/fotismos/vasikes-ennoies-fotismoy>.
- [20] Illuminating Engineering Society, «The Lighting Handbook, Tenth Edition | Reference and Application», Ιούλιος 2011.
- [21] «Έρχονται τα κτήρια nZEB και στην Ελλάδα από 01-01-2021», Φεβρουάριος 2019, [www.b2green.gr/el/post/66380/m-christodoulidis-erchontai-ta-ktiria-nzeb-kai-stin-ellada-apo-01-01-2021](http://www.b2green.gr/el/post/66380/m-christodoulidis-erchontai-ta-ktiria-nzeb-kai-stin-ellada-apo-01-01-2021).

- [22] Α. Μοροπούλου, Κ. Λαμπρόπουλος, «Δομικά Υλικά και Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτίρια», 2013.
- [23] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, «ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ (ΚΕΝΑΚ)», Ιανουάριος 2018.
- [24] «Ζέστη θέρμανση και οικονομία τον φετινό χειμώνα.», Νοέμβριος 2011, <https://greenbuilding.gr/thermansi/θέρμανση>.
- [25] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), [www.cres.gr](http://www.cres.gr).
- [26] European Committee for Standardization, EN 12464-1 «Light and lighting – Lighting of work places – Part 1 : Indoor work places», 2011.
- [27] European Committee for Standardization, EN 12464-2 «Light and lighting – Lighting of work places – Part 2 : Outdoor work places», 2014.
- [28] European Committee for Standardization, EN 1838 «Lighting Applications – Emergency lighting», 2013.
- [29] European Committee for Standardization, EN 12193 «Light and lighting - Sports lighting», 2007.
- [30] P. Tsikra, E. Andreou, «Investigation of the Energy Saving Potential in Existing School Buildings in Greece. The role of Shading and Daylight Strategies in Visual Comfort and Energy Saving», Procedia Environmental Sciences, 2017.
- [31] Nam Nguyen, Van-Quyen Dinh, Tung Nguyen-Duc, Quoc-Tuan Ta, Xuan-Viet Dao, Thanh-Huy Pham, Trung-Kien Nguyen-Duc, «Effect of potting materials on LED bulb's driver temperature», Microelectronics Reliability, 2019.
- [32] Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Φυσική (Γενικής Παιδείας) Γ' Τάξης Γενικού Λυκείου, Ιανουάριος 1999.
- [33] Φ. Β. Τοπαλής, «Εξοικονόμηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού εσωτερικών χώρων», Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση.
- [34] «Difference between T5, T8, T12», [www.ballastshop.com/difference\\_between\\_tubes](http://www.ballastshop.com/difference_between_tubes).
- [35] Y. Akashi, C. O'Rourke, M. Morgan, K. Toomey, «T5 fluorescent Systems», Lighting Research Center of Rensselaer Polytechnic Institute, Ιούλιος 2002.
- [36] Ζ. Γεωργιάδου, Π. Ηλίας, Α. Κλωνιζάκης, Μ. Μοίρα, Δ. Φράγκου, «Οι εγκαταστάσεις», 2015.
- [37] «How do solar tubes work?», Απρίλιος 2016, <https://www.warnerroofinginc.com/blog/how-do-solar-tubes-work>.
- [38] Α. Πατσατζής, «Εφαρμογή Συστημάτων Φυσικού Φωτισμού στην Εξοικονόμηση Ενέργειας», Δεκέμβριος 2012.
- [39] Ε. Κρεβατσούλη, «Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια», 2013.
- [40] Technische Universität Berlin-Universitätsbibliothek, «Daylighting and electric lighting retrofit solutions», 2016.
- [41] Α. Τσαγκρασούλης, «Φυσικός Φωτισμός», 2016.
- [42] Λ. Δούλος, «Ανάπτυξη συστήματος αυτόματης προσαρμογής του τεχνητού φωτισμού με στόχο την βέλτιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού», Εκδόσεις ΕΜΠ, διδακτορική διατριβή, 2010.
- [43] «Daylight Harvesting Lighting Controls», <http://intelliblinds.com/daylightharvesting.html>

- [44] Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico, «Lighting Control Strategies», 2009.
- [45] «LED Driver», <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-an-led-driver>.
- [46] «LED: Τεχνολογία για ενεργειακά αποδοτικές, ευέλικτες λύσεις φωτισμού», <https://www.ledvance.gr/prouiod-tau/nchd-oseu-toud-prouiod-toud/vausika-stouicheuiau-nchiau-tau-led/vausikes-nchd-oseuis-nchiau-tau-led/index.jsp>.
- [47] Philips Lighting, <http://www.lighting.philips.com>.
- [48] E. Vitz, J. W. Moore, J. Shorb, X. Prat-Resina, T. Wendorff, A. Hahn. «Compact Fluorescent Lamps», ChemPRIME, 2019.
- [49] Lemvigh-Müller, <https://www.lemu.dk>.
- [50] Regiolux, <https://www.regiolux.de>.
- [51] «Light Fixture (Luminaire) Types», <https://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/lightfixtures.html>.
- [52] «Photo resistor», <http://www.resistorguide.com/photoresistor/>.
- [53] «What's the Difference Between PIR and Dual Technology Occupancy Sensors?», <https://www.intermatic.com/en/newsroom/applications-solutions/2017/whats-the-difference-between-pir-and-dual-technology-occupancy-sensors>.
- [54] «Light Shelf», [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Light\\_shelf](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Light_shelf).
- [55] «VELUX Solar Tubes», <http://www.veluxusa.com/products/sun-tunnels/flexible>.
- [56] V. Garcia-Hansen, «Improving daylighting performance of mirrored light pipes», Ιούνιος 2009.
- [57] «Αίθρια», <http://www.technikal.gr/Products/Atriums>.
- [58] P. Thorns, «EN12464-1:2011 Light and lighting – Lighting of workplaces Part 1: Indoor work places», CIBSE, Φεβρουάριος 2010.
- [59] «Χάρτης Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου», <https://www.athenstransport.com/2016/09/ekpa-zografou/χάρτης-πολυτεχνειούπολης-ζωγράφου>.
- [60] ZUMBOTEL, «Light for Education and Science».
- [61] U.S. Department of Energy, «Tuning the Light in Classrooms: Evaluating Trial LED Lighting Systems in Three Classrooms at the Carrollton-Farmers Branch Independent School District in Carrollton, TX», Σεπτέμβριος 2017.
- [62] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων», Μάιος 2010.
- [63] «Light Output Ratio», [www.nultylighting.co.uk/blog/light-output-ratio](http://www.nultylighting.co.uk/blog/light-output-ratio).
- [64] P. Raynham, «Lighting Guide 5: Lighting for education», CIBSE, 2011.
- [65] «Safety Lighting - licht.wissen No. 02 "Good Lighting for a Better Learning Environment», 2012, <http://www.licht.de>.
- [66] «Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων, Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων & Διοίκησης», <http://academics.epu.ntua.gr/Μαθήματα/ΠολυκριτήριαΑνάλυσηΑποφάσεων.aspx>.
- [67] «Electrical ballast», [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_ballast](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_ballast).
- [68] «Fluorescent lamp», [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp).
- [69] «Compact fluorescent lamp», [https://en.wikipedia.org/wiki/Compact\\_fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp).
- [70] A. Hernandez, A. Marble, «Led Drivers», Advance.
- [71] «CONSTANT LUMEN OUTPUT», <https://www.xal.com/en/know-how/clo-constant-lumen-output/>

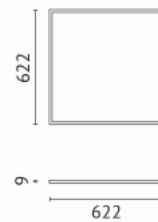
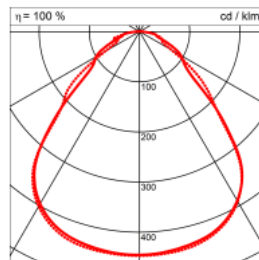


## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: DATA SHEETS ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ**

## Παράρτημα Π.1

ELEDN  
ELEDN-40NW11P

**ALS**  
ARCHITEKTONISCHE  
L I C H T  
S Y S T E M E



### Luminaire

Hersteller	A.L.S.
Article number	ELEDN-40NW11P
Product name	ELEDN
Product group	recessed luminaire
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling
Control gear	Electronic transformer
Test mark	CE

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaire

Absolute Photometry	
System Light flux	3725.00 Lm
Luminaire output	100.70 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	61 87 96 100 100
Control gear	Electronic transformer
System power	37.0W
Protection class	Protection class II
Protection degree	IP 20

### Dimensions

Length/Width/Height	622mm/622mm/9mm
---------------------	-----------------

### Luminaire

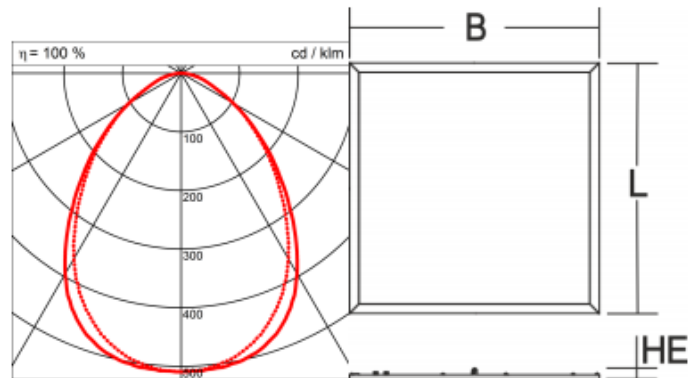
Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED / LED NW
System power	37 W
Light flux	3725 lm

### Description

ELED, Ceiling inlaying luminaire, Module 622x622mm, LED 1x40W, UGR<19, 4000K, CRI>80, 220-240V, diffuser prismatic, inkl. external power supply from Philips Xitanium, IP20, frame white

## Παράρτημα Π.2

Sidelite ECO 35  
312102.002.1.76



### Luminaire

Hersteller	RZB
Article number	312102.002.1.76
Product name	Sidelite ECO 35
Product group	Recessed modular luminaires
Mounting type	Surface mounted
Mounting place	Ceiling
Test mark	CE

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaire

Absolute Photometry	
System Light flux	3750.00 Lm
Luminaire output	107.10 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	61 88 97 100 100
System power	35.0W
Protection class	Protection class II
Protection degree	IP 40

### Dimensions

Length/Width/Height	622mm/622mm/15mm
---------------------	------------------

### Luminaires

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED Modul 840 / LED Modul 840
System power	35 W
Light flux	3750 lm
Colour temperature	840
Colour rendering	80
Lifetime	50000 h

### Description

Series: Sidelite ECO 35

Type of Protection: IP 40

Protection Class: II

Voltage: 220 - 240 V / 50 - 60 Hz

Frame: white powder coated aluminium. Diffuser: plastic (PMMA) micropismatic, (suitable for use in environments with computer screens in accordance with EN 12464-1), diffuser and light guide made of non-yellowing PMMA, lateral light emission with LED, lamp (LED) included, external converter (height 32mm) included

Available Colours: white

Type of Installation: Recessed ceiling mounting

Dimensions: L 622, B 622, HE 42

Lamp: LED

Life time: 50000 h

Colour temperature: 4000K

Socket: without socket

Operating Mode Lamp 1: Converter, dimmable, DALI

Safety Marks: F-mark

Impact Protection: IK03 (0,35 Joule)

Luminaire flux LED: 3750lm

System power: 35W

Beam Angle: 85°/82°

Luminaires on B10A fuse: 9

Luminaires on B16A fuse: 15

Luminaires on C10A fuse: 15

Luminaires on C16A fuse: 25

Starting current: 20,4A

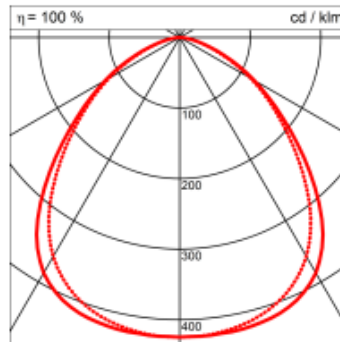
Unified Glare Ratio: 18,0

EEC: A+

## Παράρτημα Π.3

CoreLine Panel  
RC132V W60L60 1 xLED36S/840 OC

**PHILIPS**



### Luminaires

Hersteller	Philips Lighting
Article number	RC132V W60L60 1 xLED36S/840 OC
Product name	CoreLine Panel
Product group	Indoor - Recessed
Mounting type	Recessed
Mounting place	Wall, Ceiling

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Dimensions

Length/Width/Height	597mm/597mm/32mm
---------------------	------------------

### Luminaires

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED36S/840 / LED36S/840
Lamp power	36 W
System power	36 W
Light flux	3600 lm
Colour temperature	4000
Colour rendering	80

### Description

CoreLine Panel – the clear choice for LED Whether for a new building or renovation of an existing space, customers want lighting solutions that provide quality of light and substantial energy and maintenance savings. The new CoreLine Panel range of LED products can be used to replace functional luminaires in general lighting applications. Both Non-Office Compliant (NOC) version and Office Compliant version (OC) are now available. The process of selecting, installing and maintaining is so easy – it's a simple switch.



## Gacrux II Eco MCD OMS 3500lm/37W/840

LED panelarmatur med høj lumen per watt ratio til anvendelse i systemlofter med synlige T-skiner. Armaturet er velegnet til anvendelse i kontor, uddannelse og øvrige indendørsområder med krav til god almen belysning.



**LM NR.** 7842106796  
**EAN NR.** 5709728424123  
**LEV VARENR.** H031AH0009

### PRODUKTTYPE

Indbyg

### VAREMÆRKE

OMS

### ANVENDELSESOMRÅDE

Kontor  
Skole og uddannelse

### TEKNISKE DATA

Armaturfarve	Hvid
Armaturhus, materiale	Stål
Afskærmning, materiale	PMMA
IP klasse oppefra	IP20
IP klasse nedefra	IP40

### LYSTEKNIK

Wattage (system)	37
Kelvin (K)	4000
Lumen ud af armatur	3500
Lumen / Watt (system)	0
SDCM (MacAdam)	3
UGR	<24
Afskærmning finish	Mikroprismatisk
Opadrettet lys (%)	0
Nedadrettet lys (%)	100

Kipbar	Nej
Forsyningsspænding (V DC)	Nej
Forsyningsspænding (V AC)	220-240
Forsyningsstrøm (mA, strømstyret)	700
Mindste omgivelsestemperatur (°C)	Ikke industrielt

### LYSKILDE

Lyskilde indkluderet	Yes
Lyskilde udskiftelig	Nej
Lyskilde type	LED

Antal lyskilder	LED
Søkkel	Ingen Stikkontakt
Levetid	Timer 50000 L/B 80/10

### STYRING

Med/uden integreret sensor	Uden Sensor
----------------------------	-------------

Dæmpningstype	Ikke dæmpbar
---------------	--------------

### INSTALLATION OG MONTERING

Moneringssted	Loft
Montagetype	Loft
Mål	H x B x L
Udskæringsform	Kvadratisk

Må indbygges direkte i isolering	Nej
kvadrat (mm2)	2,5 mm2
Tilslutning	Indstiksklemrække
Gennemfortrådet	Nej

## Παράρτημα Π.5

panella-PEMP/600 LED 3900 840 • vw • ED •  
60164034150

**REGIOLUX**

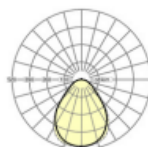
**Lay-in/surface-mounted/suspended luminaire:** Micro-prismatic diffuser direct distribution  
Extremely flat white powder coated aluminium frame, installation height 13 mm, galvanised sheet steel cover suitable for ceilings with exposed T-bars. Housing colour traffic white RAL 9016; Direct light distribution using microprismatic glass, for VDU workstations,  $65^\circ < 3000 \text{ cd/m}^2$  omnidirectional glare suppression according to current DIN-EN 12464-1 standard; External LED driver with luminaire wired via 400 mm flexible connection cable using connector system ready for operation. Note on protection rating: IP20 for surface mounting and suspended installation, IP40 for mounting in suspended ceiling grid. Recommended accessories for ceiling mounting, mounting kit PE-AS 600 and PE-AR 600/625, and for suspended installation, suspension kit PE-HS, ordered separately.

### CHARACTERISTICS

Order number	60164034150
EAN-number	4020863337675
Commodity code	94051098
Certification mark	IP 20/40, Protection class II, VDU $65^\circ < 3000$ , F, Indoor, CE
Ambient temperatures	25°C (TA min) / 25°C (TA max)

### ELECTRICAL ENGINEERING

Operating device	Electronic driver (1 pcs.)
System output	32 (W)
Mains voltage	230 V / 50 Hz
Energy efficiency class	A+



$\eta_{\text{LB}}$	100 %
$\Phi \downarrow / \uparrow$	98 % / 2 %
UGR lat./long.	18.1 / 18.4
VDU	$65^\circ < 3000 \text{ cd/m}^2$

### LIGHTING TECHNOLOGY

Configuration	LED, Colour rendering/Light colour CRI $\geq 80$ / 4000K
Luminaire luminous flux	3860 (lm)
LED service life	50000h L70/B10
Luminaire luminous efficacy	119 (lm/W)

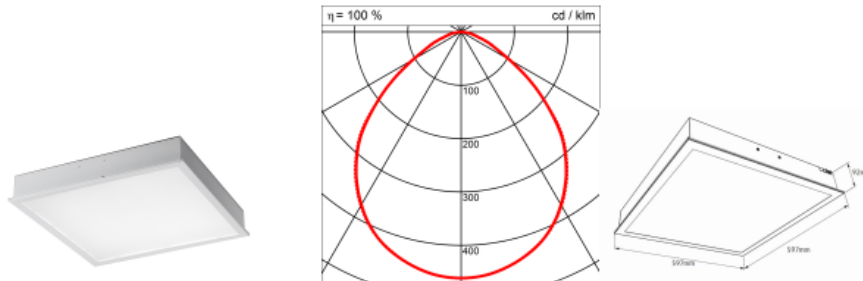


### MECHANICS

Colour of the housing	traffic white RAL 9016
Dimensions LxWxH/DxH	595 x 595 x 13 (mm)
Depth	13 (mm)
Ceiling system	ceilings with visible T-rails [s-TS] (600x600mm)
Installation depth	100 [s-TS]; 100 [s-TS] min (mm)
Weight (net)	3.79 (kg)
mounting method	Recessed mounting, Surface single mounting, Suspended single mounting

## Παράρτημα Π.6

EATON - TALISKA P  
TALP66244KZ



### Luminaire

Hersteller	Eaton (Cooper)
Article number	TALP66244KZ
Product name	EATON - TALISKA P
Product group	recessed luminaire
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling
Control gear	Electronic ballast
Test mark	CE

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Luminaire

Absolute Photometry	
System Light flux	2428.00 Lm
Luminaire output	102.90 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	60 90 98 100 100
Control gear	Electronic ballast
System power	23.6W
Protection class	Protection class I
Protection degree	IP 20

### Dimensions

Length/Width/Height	600mm/600mm/5mm
---------------------	-----------------

### Luminaire

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED / LED
System power	23.6 W
Light flux	2428 lm

### Description

600x600mm lay-in & draw up recessed LED luminaire with full box steel construction powder coated in RAL9016. High output high efficacy LED chip optimized for recessed panels 2400lm with a colour temperature of 4000°K, Ra 80. c/w Fixed output control gear with plug and socket connection to the rear. Emergency versions have unique LED optic, (For emergency calculation use separate LDT file TALPEM)



## Παράρτημα Π.7

Manufacturer: Philips Lighting

**PHILIPS**

**SM400C POE W60L60 EL3 EM 1 xLED36S/840 Indoor - Surface mounted SlimBlend**  
**Square, surface mounted**

SlimBlend Square - High performance, advanced control

Office norm-compliant lighting with good quality of light

is in demand. Moreover, there is also an increasing need

for comfort-enhancing effects such as diffused lighting and lighting smoothly blending into the ceiling architecture.

That's why 'surface of light' solutions are becoming more and more popular. But parallel to these needs, are the demands to reduce energy and maintenance costs. SlimBlend answers all these needs and more. Not only does it provide glare-free comfort with a diffuse effect and clutter-free aesthetics thanks to integrated control options, it also creates a special blending of light. It uses the 'trapped' light under the masking to create a subtle glow, with a soft transition to the edge, lowering the brightness perception and blending the light into the ceiling. SlimBlend can also be part of a connected lighting system and integrated into the IT infrastructure enabling data on usage to be collected to help reduce energy costs and enhance employee comfort further. Also, thanks to the slim design, it enables technical equipment to be more easily installed in the plenum. Moreover,

thanks to the variety of ways of mounting, various ceiling types can take advantage of this luminaire family. SlimBlend comes in square, rectangular and can be either recessed, surface-mounted, suspended. It offers a good balance between initial cost and ROI, making it the ideal choice for delivering excellent quality of light and a fast Return on Investment for offices.

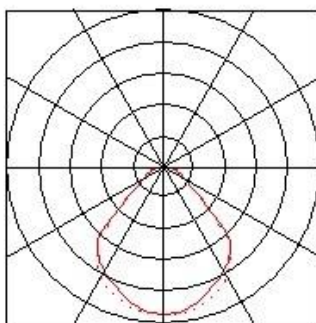
### Luminaire data

Luminaire efficiency	: 100%
Luminaire efficacy	: 120 lm/W
Classification	: A50 □ 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes	: 62 88 97 100 100
UGR 4H 8H	: 17.6 / 17.6
Power	: 30 W
Luminous flux	: 3600 lm

### Equipped with

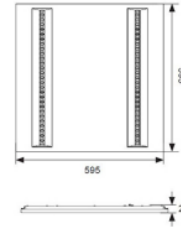
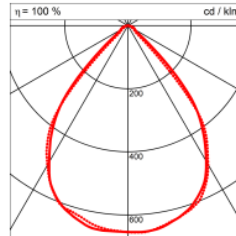
Quantity	: 1
Designation	: LED36S/840
Power	: 30 W
Colour	: 4000
Luminous flux	: 3600 lm
Colour reproduction	: 80

Dimensions : 597 mm x 597 mm x 68 mm



## Παράρτημα Π.8

COMMERCIAL - Pluto LED  
APLULED



### Luminaires

Hersteller	Ansell
Article number	APLULED
Product name	COMMERCIAL - Pluto LED
Product group	Recessed luminaire
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling
Control gear	Electronic ballast
Test mark	CE

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaires

Absolute Photometry	
System Light flux	3591.00 Lm
Luminaire output	102.60 Lm/W
LiTG class	A60
CIE flux codes	80 97 100 100 100
Control gear	Electronic ballast
System power	35.0W
Protection class	Protection class II
Protection degree	IP 20

### Dimensions

Length/Width/Height	595mm/595mm/0mm
---------------------	-----------------

### Luminaires

Lamp type	1 x LED
System power	35 W
Light flux	3591 lm

### Description

APLULED  
COMMERCIAL

Pluto LED  
LED 35W - Cool White

Supplied c/w Integral Driver

- Stylish LED recessed modular
- Ideal for office, school, retail and industrial applications
- Exceeds performance of 2 x 55W PL-L
- UGR<14 (Unified Glare Rating) compliant
- LED lifespan L70 50,000 hours

### Options

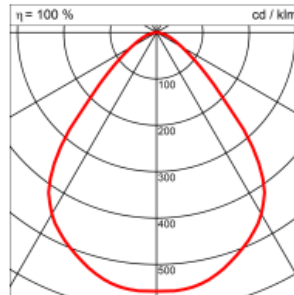
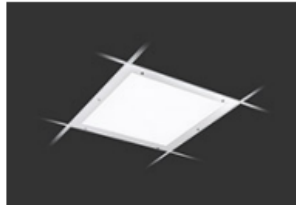
/M3 Emergency  
/DD Digital Dimming (DD1/DD2/DD3/DD4)  
/DD/M3 Digital Dimming Emergency

Operating Temp -20°C to 50°C




- Suitable for internal use only
- 5 Year Product Warranty
- IP 20

## Παράρτημα Π.9

Cleanline LED  
CZ17994



### Luminaire

Hersteller	Thorlux Lighting
Article number	CZ17994
Product name	Cleanline LED
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling
Test mark	  

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaire

Absolute Photometry	
System Light flux	2950.00 Lm
Luminaire output	98.30 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	71 93 99 100 100
System power	30.0W
Protection degree	IP 65

### Dimensions

Length/Width/Height	597mm/597mm/101mm
---------------------	-------------------

### Luminaire

Lamp type	1 x LED
Lamp power	26 W
System power	30 W
Light flux	2950 lm
Colour temperature	4000

### Description

IP65 recessed modular luminaires with quick release extruded aluminium cover frame and a choice of five front covers. Satisfies the requirements of cleanroom classifications FS209D 10,000 and 100,000 and ISO BSEN 14644-1, 7 and 8.

Applications: printing works, water treatment plants and pump rooms, industrial process areas, shower rooms and toilet blocks, food preparation areas.

## Παράρτημα Π.10

UEX/625 LED 3000 840 • vw • ET • 76020404160

REGIOLUX

### Einbauleuchte universal - Parabolaster seidenmatt - direkt strahlend

Stahlblechgehäuse geeignet für Decken mit sichtbaren T-Schienen, verdeckt symmetrischen Schienenkonstruktionen und ausgeschnittene Decken; Gehäusefarbe verkehrsweiß RAL 9016; Lichtverteilung direkt strahlend mittels reflexionsverstärktem Aluminium-Parabolaster seidenmatt eloxiert, für Bildschirmarbeitsplätze, 65° < 1000 cd/m² rundumt blendet nach aktueller Norm DIN-EN 12464-1, selbststrahlend, beidseitig abklappbar; Elektrischer Anschluss über 3-polige Anschlussklemme in Steckkontakt-Technik. Universalbefestigungsbügel UBB T5/LED für verdeckt symmetrische Schienenkonstruktionen oder ausgeschnittene Decken und Sicherungsclipse SCT CLIPS für Decken mit sichtbaren T-Schienen, separat bestellen.

#### KENNDATEN

Bestellnummer	76020404160
EAN-Nummer	4020863312863
Stat. Waren-Nr.	94051098
Prüfzeichen	IP 20, Schutzklasse I, BAP 65° < 1000, ENEC10 VDE, F, Indoor, CE

#### ELEKTROTECHNIK

Betriebsgerät	Elektronischer Treiber (1 Stück)
Systemleistung	22 (W)
Netzspannung	230 V / 50 Hz
Energieeffizienzklasse	A++

#### LICHTTECHNIK

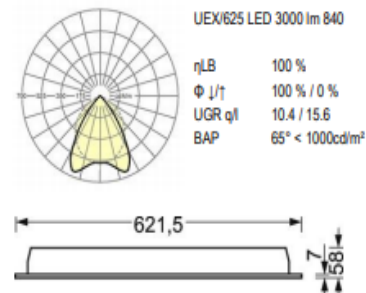
Bestückung	LED, Farbwiedergabe/Lichtfarbe CRI ≥ 80 / 4000K
Leuchtenlichtstrom	3013 (lm)
Lampenlebensdauer	50000h L80/B10
Leuchten Lichtausbeute	139 (lm/W)
UGR 4H/8H	UGR ≤ 19

#### MECHANIK

Gehäusefarbe	verkehrsweiß RAL 9016
Abmessungen LxBxH/DxH	621.5 x 621.5 x 58 (mm)
Tiefe	51 (mm)
Deckensystem	Decken mit sichtbaren T-Schienen [s-TS] (625x625mm), verdeckt symmetrische Schienenkonstruktion [VS] (625x625mm), ausgeschnittene Decken [AD]
Deckenausschnitt LxB/D	585 x 585 (mm)
Einbautiefe	120 [AD]; 250 [s-TS]; 140 [s-TS] min; 120 [VS] (mm)
Gewicht (netto)	3.9 (kg)
Montageart	Deckeneinbau-Einzelmontage

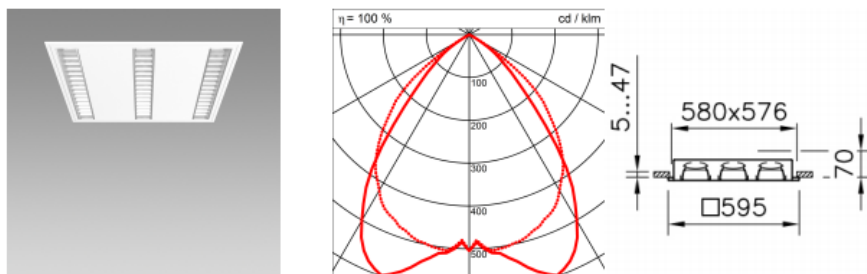
#### DEEP-LINK

<https://www.regiolux.de/de/article/76020404160>



## Παράρτημα Π.11

GEO 3  
2001.4132



### Luminaire

Hersteller	Regent
Article number	2001.4132
Product name	GEO 3
Product group	Recessed ceiling luminaire
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaire

Absolute Photometry	
System Light flux	3100.00 Lm
Luminaire output	134.80 Lm/W
LiTG class	A60
CIE flux codes	74 99 100 100 100
System power	23.0W
Protection class	Protection class I
Protection degree	IP 40

### Dimensions

Length/Width/Height	595mm/595mm/0mm
---------------------	-----------------

### Luminaire

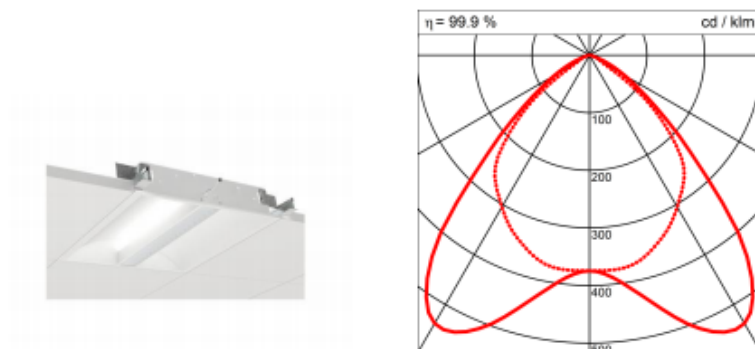
Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED / LED
System power	23 W
Light flux	3100 lm
Colour temperature	3000 K
Colour rendering	Ra >80

### Description

Recessed ceiling luminaire Geo 3 LED 3 lamps, with LED (Light Emitting Diode), system power: 23 W, luminous flux of luminaire 3100 lm, CRI >80, 3000 K, warm white, SDCM 3, L80 (B10) 50'000h, 230 V, direct light emission, housing in steel sheet white powder coated, specular louvre in aluminium brilliant polished, 1 integral control gear, DALI, Protection class I, Ingress protection IP20 / IP40, Glow wire test 850 °C, Impact strength: IK 07 module 600, L = 595 mm, B = 595 mm, EL = 576 mm, EB = 580 mm, ET = 70 mm

## Παράρτημα Π.12

C30-RIC-RIT G2  
C30-RIC625 G2 LED 2800 830 SU



### Luminaire

Hersteller	Glamox
Article number	C30-RIC625 G2 LED 2800 830 SU
Product name	C30-RIC-RIT G2
Product group	Commercial - Ceiling recessed
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling
Test mark	CE

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaire

Absolute Photometry	
System Light flux	2685.31 Lm
Luminaire output	116.80 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	66 95 99 100 100
System power	23.0W
Protection class	Protection class I
Protection degree	IP 20

## Dimensions

Length/Width/Height	624mm/623mm/120mm
---------------------	-------------------

## Luminaires

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED 830 / LED 830
System power	23 W
Light flux	2688 lm
Colour temperature	3000K
Colour rendering	>80
Lifetime	50000 h

## Description

### Light source

LED 2800 - 4200 lumen out

Colour temperature 3000/4000 K, CRI Ra 80, MacAdams 3

### Driver

External driver box allow rapid installation and easy access for maintenance, without opening the luminaire. HF or DALI. Driver life time up to 100.000 h/10 % (max failure) at Ta 25°C.

### Body material & colour

Steel body and secondary reflectors in powder coated white.

### Mounting

C30-RIC: For recessed mounting from underneath in symmetric or asymmetric concealed ceilings by using integrated mounting brackets.

C30-RIT: For easy lay in to exposed T-bar ceiling. A mounting frame for plasterboard ceilings is available as an accessory.

### Optics

White painted secondary reflectors with a micro prismatic centre optic type MP.

### Sensors

This product is available with a PIR sensor type SPR-SEN with relay based ON/OFF switch or a PIR sensor wired for Corridor function type SPC-SEN. It is also available with a combined PIR and Constant Light sensor with integrated DALI Power supply type MPP-SEN or a slave PIR version type MPS-SEN.

For more information see user manual for the respective sensor under "Download"

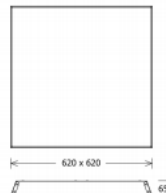
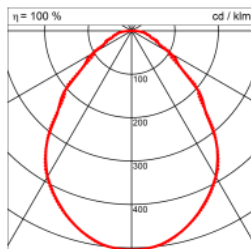
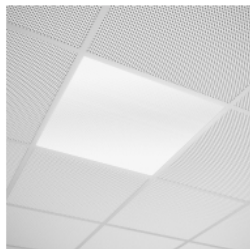
### Emergency system

Standard (S), Self test (ST) or DALI. 1h or 3h.



## Παράρτημα Π.13

PL 59 Eco  
PLL-ECO 593.0625.30.2



### Luminaires

Hersteller	LTS
Article number	PLL-ECO 593.0625.30.2
Product name	PL 59 Eco
Product group	Einbauleuchte
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling
Test mark	CE

### Model / Variant / Configuration

Number / Name ---

### Description

Product without accessories

### Luminaires

#### Absolute Photometry

System Light flux	3950.00 Lm
Luminaire output	123.40 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	62 87 97 100 100
System power	32.0W
Protection class	Protection class I
Protection degree	IP 20

### Dimensions

Length/Width/Height 620mm/620mm/0mm

### Luminaires

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED / LED
System power	32 W
Light flux	3950 lm
Colour temperature	830/3000K
Colour rendering	>80

### Description

light field for suspended ceiling systems with visible T profile module (625 x 625),  
uniform lighting surface,  
low glare values,  
no UV and thermal emissions,  
outstanding ease of maintenance,  
luminaire housing made from aluminium sheet,  
positioning of the ballast outside on the luminaire body is possible,  
tool-free mounting into ceiling,  
prismatic acrylic glass diffuser,  
simple plug connection to ballast,  
LED converter included  
LED Modul | 830 | CRI 80 | 3000 K  
Lifetime: L80 B20 50.000 h  
Installation depth: 100 mm  
Dimensions (LxBxH): 620 x 620 x 68 mm





## Freyn II OMS 3100lm/22W/840 LED FIX

FREYN II har en meget høj system effektivitet på optil 141 lumen pr watt. I familien findes mange variationer



**LM NR.** 7857002254  
**EAN NR.** 5709728198710  
**LEV VARENR.** K032AE0401

**PRODUKTTYPE**  
Indbyg

**VAREMÆRKE**  
OMS

**ANVENDELSESOMRÅDE**  
Kontor  
Skole og uddannelse  
Gange og fællesarealer

### TEKNISKE DATA

Armaturhus, materiale	Stålblade
IP klasse oppefra	20
IP klasse nedefra	40
Kipbar	Nej

### LYSKILDE

Lyskilde inkluderet	Ja
Lyskilde udskiftelig	Nej
Lyskilde type	LED

### LYSTEKNIK

Wattage (system)	22
Kelvin (K)	4000
Lumen ud af armatur	3100
Lumen / Watt (system)	141
SDCM (MacAdam)	3
UGR	<19
Opadrettet lys (%)	0
Nedadrettet lys (%)	100

Forsyningsspænding (V AC)	220-240V
Mindste omgivelsestemperatur (°C)	-20
Højeste omgivelsestemperatur (°C)	35

Antal lyskilder	1
Sokkel	LED
Levetid	Timer 50000 L/B L80/B10

### STYRING

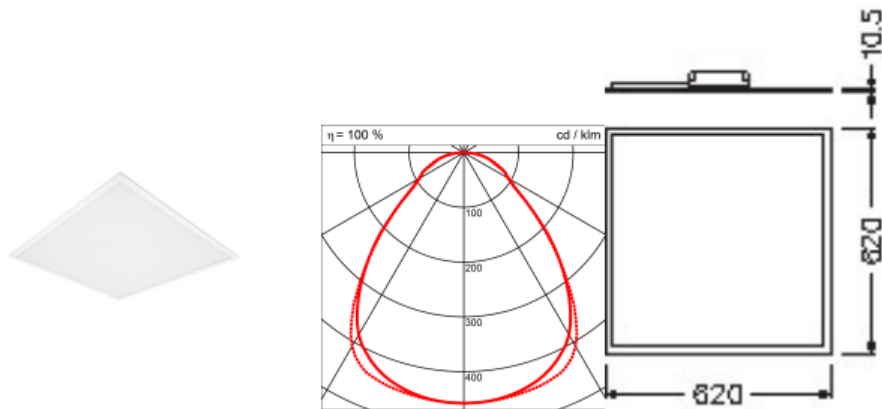
Med/uden integreret sensor	Uden sensor
----------------------------	-------------

### INSTALLATION OG MONTERING

Monteringssted	Loft	Indbygningsdybde	130
Montagetype	Loft	Må indbygges direkte i isolering	Nej
Mål	H 27 x B 595 x L 595	Tilslutning	Indstiksklemrække
Udskæringsform	Kvadratisk	Gennemforrådet	Nej

## Παράρτημα Π.15

LEDVANCE PANEL LED 625 625 33 W 4000 K UGR < 19  
4058075000728



### Luminaires

Hersteller	LEDVANCE
Article number	4058075000728
Product name	LEDVANCE PANEL LED 625 625 33 W 4000 K UGR < 19
Product group	Recessed luminaire
Mounting type	Surface mounted, Recessed, Pendant
Mounting place	Ceiling

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaires

Absolute Photometry	
System Light flux	3600.00 Lm
Luminaire output	109.10 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	60 86 96 100 100
System power	33.0W
Protection class	Protection class II
Protection degree	IP 20

### Dimensions

Length/Width/Height	625mm/625mm/10mm
---------------------	------------------

### Luminaires

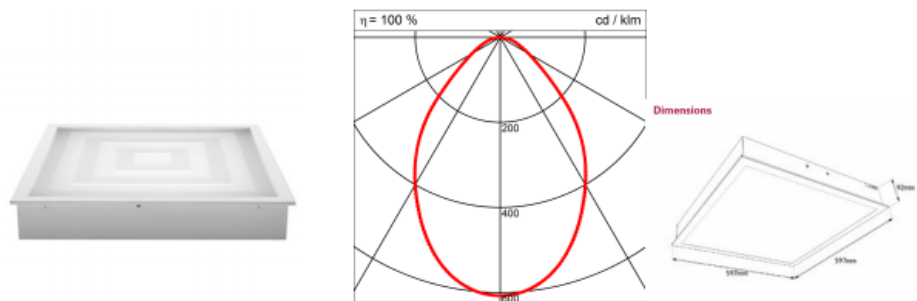
Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED lamp/module 4000K / LED lamp/module 4000K
System power	33 W
Light flux	3600 lm
Colour temperature	840/4000K
Colour rendering	1B/80
Lifetime	50000 h

### Description

LEDVANCE PANEL LED 625, LED panel luminaire - 620.0 mm x 620.0 mm x 10.5 mm | Nominal wattage: 33.00 W | Nominal voltage: 220...240 V | Color temperature: 4000 K | Luminous flux: 3600 lm | Luminous efficacy: 110 lm/W | Lifespan L70 at 25 °C: 50000 h | Type of mounting: Recessed, Suspended, Surface

## Παράρτημα Π.16

EATON - CORNELL  
CNL66444KZ



### Luminaire

Hersteller	Eaton (Cooper)
Article number	CNL66444KZ
Product name	EATON - CORNELL
Product group	recessed luminaire
Mounting type	Recessed

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaire

Absolute Photometry	
System Light flux	4337.00 Lm
Luminaire output	109.50 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	66 90 98 100 100
Control gear	Electronic ballast
System power	39.6W
Protection class	Protection class I
Protection degree	IP 20

### Dimensions

Length/Width/Height	600mm/600mm/5mm
---------------------	-----------------

### Luminaire

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED / LED
System power	39.6 W
Light flux	4337 lm

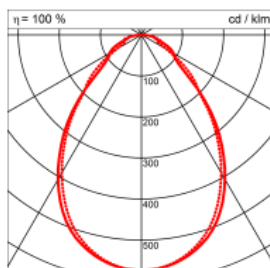
### Description

600x600mm lay-in & draw up recessed LED luminaire with full box steel construction powder coated in RAL9016 with Dynamic Aspect™ diffuser combination with 65° cut-off angle characteristics. High output high efficacy LED chip optimized for recessed panels 4400lm with a colour temperature of 4000°K, Ra 80. c/w Fixed output control gear with plug and socket connection to the rear. Emergency versions have unique LED optic, (For emergency calculation use separate LDT file CNLEM)

## Παράρτημα Π.17

APOLLON®  
0MQ111723W1

**siteco**  
AN OSRAM BUSINESS



### Luminaire

Hersteller	Siteco
Article number	0MQ111723W1
Product name	APOLLON®
Product group	linear luminaire   ceiling recessed
Mounting type	Recessed
Mounting place	Ceiling

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaire

#### Absolute Photometry

System Light flux	3810.00 Lm
Luminaire output	105.00 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	65 88 97 100 100
System power	36.3W
Protection class	Protection class II
Protection degree	IP 20

### Dimensions

Length/Width/Height	625mm/625mm/26mm
---------------------	------------------

### Luminaire

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED 3000K / CRI >= 80 / LED 3000K / CRI >= 80
Lamp power	36 W
System power	36.3 W
Light flux	3810 lm
Colour temperature	3000K
Colour rendering	80

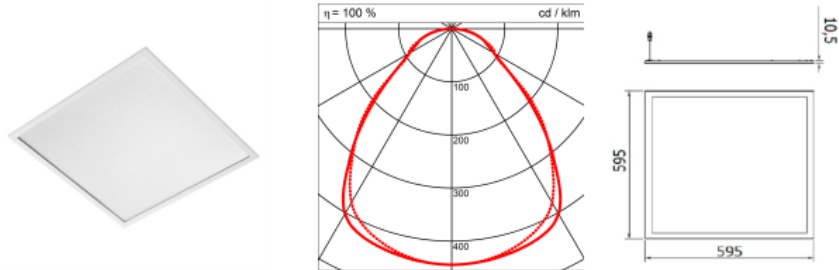
### Description

APOLLON®, square, linear luminaire, housing, primary optical cover: micro prismatic cover, of PMMA, CAT 2 (L ≤ 3000cd/m²), light emission: direct distribution, primary light characteristic: symmetric, installation type: lay-in mounting, LED, rated luminous flux: 3810lm, luminous efficacy: 105lm/W, light colour: 830, colour temperature: 3000K, control gear: ECG, with terminal, 3-pole, mains connection: 220..240V, AC, 50/60Hz, rated input power: 36W, housing, luminaire housing, of ABS, traffic white (RAL 9016), module: M625, length: 622mm, width: 622mm, height: 36mm, baseplate, of sheet steel, protection rating (complete): IP20, protection rating (lamp compartment, on room side): IP40, insulation class (complete): insulation class II (safety insulation), certification: CE, ENEC, impact resistance: IK02, permissible operating ambient temperature: -20..+40°C, permissible storage temperature: -20..+80°C, packaging unit: 1 piece

## Παράρτημα Π.18

ASTRID Full Panel 60x60  
GWS2906D

**GEWISS**



### Luminaires

Hersteller	GEWISS
Article number	GWS2906D
Product name	ASTRID Full Panel 60x60
Product group	ceiling recessed luminaire
Mounting type	Surface mounted, Recessed
Mounting place	Ceiling
Control gear	Electronic ballast
Test mark	CE

### Model / Variant / Configuration

Number / Name	---
---------------	-----

### Description

Product without accessories

### Luminaires

#### Absolute Photometry

System Light flux	2790.00 Lm
Luminaire output	107.30 Lm/W
LiTG class	A50
CIE flux codes	59 86 96 100 100
Control gear	Electronic ballast
System power	26.0W
Protection class	Protection class II
Protection degree	IP 40

### Dimensions

Length/Width/Height	595mm/595mm/10mm
---------------------	------------------

### Luminaires

Lamp type	1 x LED
ZVEI / ILCOS	LED / LED
System power	26 W
Light flux	2790 lm
Colour temperature	4000
Colour rendering	80
Lifetime	50000 h

### Description

Recessed modular fixture suitable for interior lighting in offices and environments for the tertiary. Provided with microprismatized PMMA screen, it is the ideal solution for workstations with high visual comfort. Can also be installed in ceiling and suspended by dedicated accessories kit. DALI version.